

爱 丁 顿

科学家传记丛书



上海远东出版社

爱 丁 顿

——当代天体物理学家

S. 钱德拉塞卡 著

吴智仁 王恒碧 译

赵君亮 校

上海远东出版社

1992

(沪)新登字第114号

S. Chandrasekhar

Eddington

Cambridge University Press

1983

爱 丁 顿

——当代天体物理学家

S. 钱德拉塞卡 著
吴智仁 王恒碧 译
赵君亮 校

上海远东出版社

(原上海翻译出版公司)

(上海复兴中路597号 邮政编码: 200020)

本书由上海发行所发行 常熟高专印刷厂印刷

开本787×1092 1/32 印张 2.25 插页 2 字数 50,000

1991年9月第1版 1991年9月第1次印刷

印数1—3,000

ISBN 7-80514-708-6/K·22

定 价: 1.70元

内 容 简 介

爱丁顿是当代最卓越的天体物理学家。他建立了恒星动力学，创立了现代理论天体物理学和恒星结构演化的学说，他还是广义相对论，的阐述者与倡导者，由他领导的1919年全日食观测证实了广义相对论，轰动了全世界。本书内容翔实，资料可靠，文笔生动流畅，真实记录了这位伟人生命不息、奋斗不止的一生。原著作者 S. 钱德拉塞卡是1983年度诺贝尔物理学奖获得者。



阿瑟·斯坦利·爱丁顿
Arthur Stanley Eddington
(1882. 12. 28—1944. 11.22)

目 录

I 爱丁顿：当代最卓越的天体物理学家	1
II 爱丁顿：广义相对论的阐述者与倡导者	24

I

爱丁顿：当代最卓越的天体物理学家

首先，请允许我对三一学院院长和院务委员会的信任表示感谢，由于他们的安排使我有幸在这个纪念剑桥大学和三一学院最卓越成员之一的诞辰一百周年演讲会上讲话。还在三十年代初期和中期，我作为三一学院评议会的一名成员就结识了爱丁顿。那时，除爱丁顿外，评议会还有汤姆孙（J. J. Thomson）、卢瑟福（E. Rutherford）、特里维廉（G. Trevelyan）、艾德里安（D. Adrian）、罗伯逊（D. Robertson）、哈代（G. H. Hardy）、利特尔伍德（J. E. Littlewood），以及其他许多人。对于我在那些年间成为评议会一名成员的意义，我几乎没有必要再说些什么，在差不多50年后的今天也并非一定要让我来发表这些演讲以表示对我曾幸运地得到其个人友谊的这位人物的敬意。



1944年11月爱丁顿去世了，享年62岁。那时，他的同龄人、伟大的罗素（H. N. Russell）在大西洋彼岸写道^[1]：“爱丁顿先生的逝世，使天体物理学失去了它最卓越的代表人物。”我这两次演讲中的第一讲，其中心意思就是受了罗素的启发。

在评价爱丁顿对天文学和天体物理学的贡献之前，我想先简单介绍一些他的传略，这将勾划出关于他个人风格和举

止的一个轮廓。

阿瑟·斯坦利·爱丁顿 (Arthur Stanley Eddington) 于1882年12月28日生于威斯特摩兰的肯特尔，他的父亲阿瑟·亨利·爱丁顿 (Arthur Henry Eddington) 是肯特尔的斯特拉蒙加特学校的校董兼校长。道尔顿 (J. Dalton) 在一个世纪前曾在这所学校任教。48年以后，当爱丁顿被授予肯特尔自治镇的荣誉镇民时，他回忆道^[2]：

作为我父母双亲那段短暂婚后生活的住处，肯特尔的传统习惯已编织成我最早的记忆。我不能不感到高兴的是，肯特尔已经把科学工作看作为一项极其重要的公众服务事业，这并不是指它有着任何物质上的意义，而是科学已经为社会做出了某种贡献。肯特尔与科学有着较早的联系，这就是那位伟大的化学家——也许是所有化学家中最伟大的一个，他曾经是斯特拉蒙加特学校的校长。一个世纪之后该校校长便是我的父亲，而我就是在那儿出生的。从约翰·道尔顿那儿我们知道了原子。今天，我本人也已成为一名原子的追逐者。约翰·道尔顿一定在他身后留下了某些胚种，它们在斯特拉蒙加特的墙上生长，经久不灭。我喜欢想到那种连续性，而使我感到自豪的是在某一点上我已有能力沿着肯特尔的这位伟大科学家所开创的道路前进。

爱丁顿的父亲死于1884年，他的母亲带着两个年幼的孩子斯坦利和比他大4岁的姐姐威尼弗雷特 (Winifred) 一起搬到滨流韦斯顿。在那里，爱丁顿很早就表现出对大数目的迷恋：他记住了 24×24 乘法表；有一次他着手计算《圣经》上全部词汇的数目。爱丁顿从来未放弃他对大数目的特殊喜爱。他在晚年经常喜欢写一些天文测量数字和天文距

离，并且把数字中所有的零都一个一个地写出来。例如，1926年爱丁顿在牛津对英国学术协会做晚会演讲是这样开始的^[3]：

恒星始终保持它们原有的质量，毫无变化；太阳的质量是——我要在黑板上把它写出来：

2000 000 000 000 000 000 000 000 000 吨。——我希望我把零的数目算得正确无误，虽然我敢说你们不会留意是否多写一二个零，或者少写一二个零。但是自然界确实是会留意的。

1935年，当爱丁顿的兴趣回到大尺度的天文世界时，他是用下面这张表来介绍这门学科的^[4]：

	英 里
太阳的距离	93 000 000
太阳系的范围（冥王星的轨道）	3600 000 000
最近恒星的距离	25 000 000 000 000
最近星系的距离	6000 000 000 000 000 000
宇宙的原始圆周长	40 000 000 000 000 000 000 000

当然，关于巨大数目的最著名的例子，当推1939年出版的他的著作《物理科学的哲学》第十一章第一句^[5]：

我相信宇宙中有157477241362750025776056539611
815554680447179145271167093662314250761856310312

96个质子，并且还有同样数目的电子。

这个数目等于 136×2^{256} ，后来被称为爱丁顿数。罗素问过爱丁顿，是他自己算出这个数字，还是由另外某个人替他算出了这个数字。爱丁顿回答说，是他自己在横渡大西洋期间计算出来的！

1893~1898年间爱丁顿在滨流韦斯顿的布里米林

(Brymelyn) 学校走读。我记得爱丁顿曾告诉我，在学校里他玩的一种游戏是按照 L. 卡罗尔 (Lewis Carroll) 的风格构成一些语法上不错但是却毫无意义的英语句子。他给我举的一个例子：

To stand by the hedge and sound like a turnip

(站在篱笆旁，听来像挂表)

晚年，爱丁顿为论证自己的观点常常在他比较严肃的著作中引用这样的句子。例如，在他于斯沃思莫尔所作的演讲《科学与灵魂世界》中我们看到^[6]：

人的个性只能用你在摘录一首十四行诗的平方根时所能用的那些符号来加以测度。

我不再详细介绍爱丁顿早期受教育的情况了，唯一要提一下的就是他在 1898 年进入曼彻斯特欧文学院，并在那里呆了 4 年，他在欧文学院的教师包括舒斯特 (Arthur Schuster) 先生和拉姆 (Horace Lamb) 先生。爱丁顿在他的整个一生中似乎对拉姆一直保持着深深的钦佩。例如，20 年代初，爱丁顿成了英国科学界最著名的人物之一，据报道在那时他曾经说过：“当我知道有什么事情要我像勇士那样来处理时，我宁可希望自己变成有点像拉姆那样的一个人。”

在曼彻斯特的这段特殊经历以后，1903 年爱丁顿靠了为数不多的入学奖学金进入剑桥，后来奖学金的数目变得多了。1904 年他成了高级数学学位获得者。1907 年被授予史密斯奖金，同年当选为三一学院评议员。1936 年在哈佛大学的一次宴会上，我偶而坐在怀特海 (Alfred North Whitehead) 的旁边。怀特海回忆起，作为 1907 年的选举人之一，他曾保证爱丁顿选入评议会应在另一个人之先，尽管后者所

提交的论文要比爱丁顿的长得多。怀特海回忆起这件事时似乎很得意。

1907年，也就是他被选入评议会的同年，应皇家天文学家克里斯蒂（William Christie）先生的邀请，爱丁顿加入了格林尼治天文台工作人员的行列，当台长助理。他在这个职位上工作了5年，1912年他作为G. 达尔文（George Darwin）先生的继承人，被剑桥大学选任普卢米安（Plumian）教授之职。1914年拜尔（Robert Ball）先生去世，爱丁顿又成了剑桥大学天文台的台长。后来他在这个声望显赫的位置上工作了30年，在剑桥安了家，一开始和他的母亲和姐姐在一起，后来就只和他的姐姐住在一起。

二

作为传略的结束，我要对爱丁顿的日常观点和习惯来作一些简要的介绍。

爱丁顿是教友会的教徒；而作为一个教友会教徒，在第一次世界大战期间他是一名受良心驱使的战争反对者。在下次演讲中，我将多讲一点有关他因受良心驱使而反对战争的事。现在我所要提到的只是他1929年在斯沃思莫尔的演讲《科学与灵魂世界》。在这篇演讲中，爱丁顿以坦率诚挚的态度表达了他对宗教、科学和生命的一般观点。让我来读其中的几段内容，这几段看来是概括地反映了他的一些观点^[7]：

要把科学家的先见同往往应该为宗教所要求有的那种先见完全一致起来，宗教的信条乃是一种巨大的障碍，激励我们前进的探索精神不允许把任何一类信条作为它的最终目标。如果无意中发现有这样一个学校，学

生们的功课是一再地背诵牛顿运动定律、麦克斯韦方程和光的电磁理论，那我们就会感到震惊。即使我们自己所得意的理论也恰好包括在内，或者背诵的目录每隔不多几年就更新一次，我们也依旧会对此深感遗憾。我们要说的是，如果学生接受的教育是把这些结果看作为应该加以背诵和承认的东西，那么，他们也许就不可能认识到科学训练的目的之所在。尽管科学的危险不至于表现为这种极端形式，但要想使我们反对信条和教义的立场持久不变，特别是要在通俗科学上做到这一点，可并不总是一件轻而易举的事情。

抛弃信条同坚持某种生活上的信念并不矛盾。我们在科学上是没有任何信条的，但对自己的信念却并不能三心二意。我们如此热切地去把握有关宇宙的全部知识，而信念并不等于说这种知识会一成不变地长期存在下去，但是信念是我们在前进途中的一种信心。即使我们所研究的事实渐渐地蒙上了阴影，那么这些阴影也是在永恒真理的光芒照射下形成的。

世界上存在着一种与自信完全不同的信心。

拿一件比较小的事情来说，爱丁顿的朋友们都知道，他非常愿意在春天和秋天独自骑自行车去旅行。但是，也许只有几个人知道，他还保存着有关这些旅行的精确记录。在我于1936年12月离开剑桥之前，爱丁顿给我看了一张很大的英格兰巴多罗迈旅游图，图上用黑墨水仔细地标出了几年内他所经过的每一条不同的旅行路线。他还告诉我，摊在我们面前的这张图是第二张，第一张图已经被他的狗弄得残缺不全，他不得不在这张新的图上重新标上他在早先那张图上所画过的许多路线！

爱丁顿还告诉我，在他任格林尼治天文台台长助理时，他和西德尼·查普曼（另一位骑自行车迷）曾经想出一种衡量骑自行车记录的标准。这个标准就是在不同的 n 天内至少骑 n 英里时 n 的最大值。（后来，有一次我同查普曼谈起这个标准时他却已经忘记了；不过，他确实记得，他和爱丁顿常常在一起比较他们骑自行车旅行的记录单。）

也许，令人感动的是在以后他给我的每一封信中，都写上他最新的 n 数值。下面的内容是从两封信中摘录出来的：

我骑自行车的 n 值仍然是 75。这次复活节我的运气不太高，尽管骑了 2 次，但只有 74.75，这是不够数的。为了进到下一个数，我还需要再骑 4 次。不过，那天对我来说，有着妙不可言的晴朗天气和景色秀丽的农村，特别是南威尔士……。

……明天我不得不穿上奇装异服——短裤和丝长筒袜！——再佩上我从英王那儿获得的勋章。（1938年7月4日）

现在 n 是 77 了。我记得你在这里时 n 是 75。 n 值的最近一次跳跃就发生在几天前，当时我在乡村泥地中骑了 80 英里。1940 年以来，我一直没有能进行骑自行车的旅行，因为没有在外过夜的食宿条件，所以我的记录进展缓慢。（1943 年 9 月 2 日）

最后一件事是爱丁顿特别喜欢做《泰晤士报》和《新政治家和国家报》上的填字游戏。他每填一个很少超过 5 分钟。有时，爱丁顿让我看着他做填字游戏，我对他填写速度之快深感惊讶不已。

三

现在我要来评价爱丁顿对天文学和天体物理学的贡献。

1906年当爱丁顿进入天文学界时，荷兰格罗宁根大学的卡普坦 (J. C. Kapteyn) 做出了一项革命性的发现。卡普坦是研究恒星运动的伟大先驱者，他的发现如下：

在那以前，人们一直认为在本地静止标准中恒星运动是完全没有规则的，不存在任何偏优的运动方向。所谓本地静止标准就是说，在这个静止标准中，太阳附近恒星的平均速度为零。恒星自行与视向速度反映了恒星的运动，其中的一个基本问题是要确定太阳运动，也就是确定太阳在附近恒星平均速度为零这一静止标准中的“本动速度”。

如果假定速度是随机的，看不出有任何的偏优方向，那么投影在小天区上恒星自行的分布必定表现为一个拉长的椭圆[见图1(a)]。但是卡普坦所发现的并不是这种情况，他

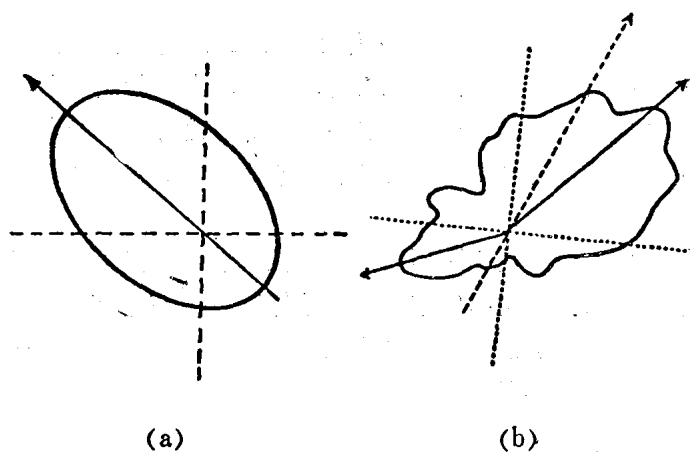


图 1

发现的却是图1(b)所表示的一种双叶曲线。

爱丁顿对卡普坦的发现作了如下的描述^[8]：

现在在厚厚一叠《格罗宁根大学校刊》谈到这些问题，所有各期中最令人感兴趣的是第6期。但是到图书馆去查这期是枉然的，因为有关第6期所含的真实有趣的东西它并没有写出来。自然界发生了某种出乎意料的变化，结果同经过精心制作安排的第6期的那幅图就不符合了。第6期的标题是《宇宙速度的分布：I 理论》，这是研究考虑到太阳运动和距离变化效应时，如何用统计方法来说明恒星沿着自己的路线随机地运动。同时又准备用观测得到的奥维尔-布拉得雷（Auwers-Bradley）自行资料来作为比较，以便确定公式中的数字常数。但是，虽然这个理论代表了当时所公认的一些观点，结果却发现它是完全弄错了，以致连开始进行某种比较都不可能；因此不得不放弃采用这个公式。这就是1905年在南非召开的英国学术协会会议上卡普坦所报告的关于两个星流的伟大发现，它首次揭示了恒星系统中的某种结构，从而为研究这些分布得很散的单个恒星间的关系开辟了一个新纪元。

爱丁顿与卡普坦假设，太阳附近的恒星从形式上可以看成是属于作相对运动的两个星群或两个星流，而且每个星群的内部都各自作随机运动，以此来解释上述有关恒星自行分布的观测特征。这就是卡普坦-爱丁顿的二星流假说。确切地说，关于麦克斯韦速度分布的假定在这以前就已提出来了，即

$$dN = N \frac{j^3}{\pi^{\frac{3}{2}}} e^{-j|\mathbf{u}|^2} d\mathbf{u} \quad (1)$$

而根据上述假说，它为下式所代替

$$dN = N_1 \frac{j_1^3}{\pi^{\frac{3}{2}}} e^{-j_1^2 |u - u_1|^2} du + N_2 \frac{j_2^3}{\pi^{\frac{3}{2}}} e^{-j_2^2 |u - u_2|^2} du \quad (2)$$

式中, N_1 和 N_2 分别为两个星流中恒星的个数, u_1 和 u_2 是这两个星流在本地静止标准中的速度, j_1 和 j_2 表示两个星流中恒星平均速度的倒数。此外, 式 (2) 是相对本地静止标准的速度分布, 这一条件要求:

$$N_1 u_1 + N_2 u_2 = 0 \quad (3)$$

爱丁顿在格林尼治期间写了几篇有关用式 (2) 的速度



图2 爱丁顿和卡普坦 (1922年5月于罗马)

分布来描述恒星运动学的论文。他还发展了用来确定两个星流的参数 N_1 、 N_2 、 u_1 、 u_2 和 j_1 、 j_2 的分析分法。他又利用他所能得到的恒星自行来确定这些参数。爱丁顿的这些论文把理论与观测出色地结合起来，同时也反映了他在分析天文观测数据时的洞察能力。

尽管有卡普坦-爱丁顿的二星流假说就够用了，卡尔·史瓦西 (Karl Schwarzschild) 却对同样的观测结果提出了另一种解释。史瓦西的出发点是要在一个有适当取向的参考系中，用下列更为一般化的椭球分布来取代 (1) 式的麦克斯韦分布：

$$dN = N \frac{j_1 j_2 j_3}{\pi^{\frac{3}{2}}} \exp(-j_1^2 u_1^2 - j_2^2 u_2^2 - j_3^2 u_3^2) du_1 du_2 du_3 \quad (4)$$

爱丁顿本人把史瓦西这种可能的方程形式评价为以最精细最令人满意的方式解释了卡普坦的发现。这种解释至今仍在应用。

1914年出版的爱丁顿第一部著作《恒星运动和宇宙结构》是他在这个时期贡献的总结。该书的大部分是对当时有关恒星运动知识的系统论述。但是，最后一章“论恒星系统的动力学”则开辟了大有发展前途的新领域。在说明了双星相遇不可能有效地改变单个恒星的运动方向之后，爱丁顿得出的结论认为，决定恒星在六维相空间中分布的函数 $f(x, y, z, u, v, w, t)$ ，必定是由恒星在整个系统扁平状引力势作用下运行时的动力学轨道来决定的，也就是由六维刘维方程（或者说现在我们应当把它称为无碰撞的玻耳兹曼方程）的解所决定。

在1915~1916年发表的论文中，爱丁顿试图求得与史瓦

西速度椭球分布相一致的刘维方程的解，具体来说，他得到了一个适用于球对称恒星系统的自治解。在这个带有普遍性的问题上，爱丁顿第一次指出了怎样用维里定理来建立星团中恒星的平均动能同它的平均势能之间的关系，在更大的范围内对于星系和星系团的这一种方法今天仍然继续流行。

由于这些研究，我们可以说是爱丁顿建立了恒星动力学这门学科——今天这已经是一门有自己特色的分支学科了。

四

现在我要来介绍的那些内容无疑是爱丁顿对物理学所作出的最重要的贡献：他建立了现代理论天体物理学，并创立了有关恒星结构和演化的学说。他对恒星结构的兴趣是在1916年由于努力探索造父变星的变化特性而激发出来的，其结果是在1926年出版了《恒星内部结构》一书。人们还应该记得，也是在这十年中，他参加了首次证实光线经过引力场时发生偏折现象的日食考察队（后来，他把这一事件称为他在天文学上最激动人心的事件），并且完成了《相对论的数学理论》（1923）一书，更不用说还有他的《相对论引力理论的报告》（1915），以及《空间、时间和引力》（1920）和《恒星和原子》（1927）这两本通俗读物了。这十年确实是成果累累的时期。

在恒星内部结构这一领域中，爱丁顿认识到并确立了我们目前可理解的下述几个基本原理：

1. 辐射压对维持恒星的平衡必定起着重要的作用，而且恒星质量越大，这一作用也越大。

2. 在恒星内部取得辐射平衡的那些地方，温度梯度是由能源的分布和物质对辐射场不透明度的分布这两个

方面共同确定的，这一点与对流平衡的情况不同。确切地说有

$$\frac{dp_r}{dr} = -\kappa \frac{L(r)}{4\pi cr^2} \rho, \quad p_r = \frac{1}{3} aT^4 \quad (5)$$

和

$$L(r) = 4\pi \int_0^r \epsilon \rho r^2 dr \quad (6)$$

式中， p_r ， κ ， ϵ 和 ρ 分别表示辐射压、恒星不透明度系数、每克恒星物质的产能率和密度。 a 为斯忒藩辐射常数， c 为光速。

3. 影响不透明度 κ 的主要物理过程是由软 X 射线区中的光电吸收系数决定的，即决定于高度电离原子最内部的 K 层和 L 层的电离情况。

4. 当电子散射是恒星不透明度的主要原因时，对于能够维持给定质量为 M 的恒星来说，光度有一个上限。最大光度由下列不等式确定：

$$L < \frac{4\pi c G M}{\sigma_e} \quad (7)$$

式中， σ_e 为汤姆孙散射系数；这一最大光度现在通称为爱丁顿极限。爱丁顿极限在目前有关 X 射线源和黑洞周围吸积盘光度的研究中起着重要的作用。

5. 在一级近似中，普通恒星（即主序星）的质量-光度-有效温度的关系对整个恒星中的能源分布并不十分敏感。因此，即使在对恒星能源缺乏详细了解的情况下，仍然可以建立某种关系来同观测进行比较。

6. 氢燃烧成氦是恒星能量最有希望的来源。

爱丁顿在大约 60 年前所作的这些推论，在当时乃至现在仍然继续有效。

我想展开其中的某些推论来阐述爱丁顿对这类问题的思

考途径。

随着恒星质量的增大，辐射压作为恒星平衡的一个因素其重要性也不断增加；我们首先就要来考察一下爱丁顿在确立这一点时所采取的方法。请回想一下，当爱丁顿以吨为单位来书写太阳的质量，并且把所有的零都一个一个写出来时，他说过人们不能因为“自然界是会留意的”而认为零的准确数目无关紧要。

在他的《恒星内部结构》一书中（原文第16页），爱丁顿以一位物理学家的想象力得出了他的结论^[9]：

在一颗被云层包围的行星上从来就没有人听说过关于恒星的事，有人就一系列大小不同的气体球计算了它们的辐射压与气体压力之比，球的质量比方说从10克开始，然后是100克、1000克等，于是第 n 个球就包含有 10^n 克

表 1

球序号	辐射压	气体压力
30	0.00000016	0.99999984
31	0.000016	0.999984
32	0.0016	0.9984
33	0.106	0.894
34	0.570	0.430
35	0.850	0.150
36	0.951	0.049
37	0.984	0.016
38	0.9951	0.0049
39	0.9984	0.0016
40	0.99951	0.00049

的物质。表1给出了他的结果中比较有趣的部分。

表中小数点后的部分总是主要包含了一长串的9和0，只有在大约第33~35号球这一特定质量范围内表的内容才变得令人感兴趣，接着又回到9和0。如果认为物质与以太（气体压力和辐射压）之间在互相比量，那么这种争斗完全是一边倒的，只有编号为33~35的球是例外，我们可以预料那儿有什么事情发生了。

所“发生”的事情就是恒星。

我们的物理学家一直在云层下面工作，现在把这层云的帷幕拉开，让他得以仰望天空。他将会在那儿发现有10亿个气体球，而且质量几乎都处于他的第33~35号球之间，也就是说介于二分之一太阳质量与50倍太阳质量之间。已知最轻恒星的质量约为 3×10^{32} 克，而最重的约 2×10^{35} 克，大多数在 $10^{33} \sim 10^{34}$ 克之间，辐射压向气体压力抗争的严峻挑战正在这个范围内展开。

表1是在假定气体压力（ p_g ）与辐射压（ p_r ）之比 $\beta/(1-\beta)$ 在整个恒星范围内为常数时来进行计算的，并且取平均分子量 μ 的数值为2.5。要是取 $\mu=1.0$ 就会更切合实际，这时每个球的质量必然要提高到 $(2.5)^2 = 6.25$ 倍。这个倍数并不十分重要。但是这项论证中有两个重要的问题爱丁顿没有提到。一个问题是，尽管在这些计算中明显地包含了与质量和星等的大小有关的某种自然常数组合（包括所有的零），但爱丁顿却没有把它分离开来，从他后来对于自然常数的专心程度来看，这是一个惊人的疏忽。实际上，在我们感兴趣的范围内，决定球体质量的自然常数组合为：

$$\left[\left(\frac{k}{H} \right)^4 \frac{3}{a} \right]^{1/2} \frac{1}{G^{3/2}} \quad (8)$$

式中, H 表示质子质量, G 是引力常数, k 和 a 分别为玻耳兹曼常数和斯忒藩常数。斯忒藩常数的值为

$$a = \frac{8\pi^5}{15} \frac{k}{h^3 c^3} \quad (9)$$

式中, h 为普朗克常数。把它代入(8)式后, 我们发现所涉及到的有关质量大小的自然常数组合是

$$\left(\frac{hc}{G}\right)^{3/2} \frac{1}{H^2} \approx 29.2 M_{\odot}^* \approx 5.2 \times 10^{34} \text{克} \quad (10)$$

可以提一下的一个例子是, 现行的恒星结构和演化理论的种种成功, 大部分来自上述的自然常数组合, 它提供了某种质量, 而同时又有着正确的星等。(我要顺便指出, 有关质量大小更一般性的组合为

$$\left(\frac{hc}{G}\right)^{\alpha} \frac{1}{H^{2\alpha-1}} \quad (11)$$

式中, α 是任意的。上式包含了普朗克质量 $\left(\frac{hc}{G}\right)^{1/2}$, 这就是

$\alpha = \frac{1}{2}$ 时的情况。)

关于表1所列出的计算结果爱丁顿所没有提到的第二个问题是, 为什么辐射压能同重力相抗争的范围会跟“恒星的发生”有关呢? 在这个问题上, 爱丁顿不是把他的论证建立在他的“标准模型”上(在标准模型中, 辐射压与气体压力之比在整个恒星范围内是常数), 他可能用了他自己的一条定理; 这就是说, 因为稳定性的缘故, 恒星中心的压力必然要比质量相同、中心密度相同, 但密度均匀的一种结构的中心压力来得小, 这样才能说明恒星中心的辐射压与总压力之比必定小于仅仅同恒星质量有关的那一部分所占的比例。因此, 表1应当为表2所取代; 对于被云层包围的行星上的那

位物理学家来说，也应得到相同的结论。

至于其他关键性方面，有一项同恒星不透明性起因有关

表 2

$(M/M_{\odot}) \mu^2$	辐射压	气体压力
0.56	0.01	0.99
1.01	0.03	0.97
2.14	0.10	0.90
3.83	0.20	0.80
6.12	0.30	0.70
9.62	0.40	0.60
15.49	0.50	0.50
26.52	0.60	0.40
50.92	0.70	0.30
122.5	0.80	0.20
224.4	0.85	0.15
519.6	0.90	0.10

的工作充分地反映出，爱丁顿是如何地用物理学的一些理论来推论天文学问题的。在考虑关于恒星不透明性的问题时，他与埃利斯（C. D. Ellis）进行了有益的讨论，后者是一位X射线和γ射线物理学方面的专家。还有，克莱默斯（H. A. Kramers）有一篇著名的论文，第一次对适用于光致电离的原子截面从理论上进行了计算，而这正是爱丁顿所需要的。但是在克莱默斯的论文发表之前，爱丁顿已经在原子核直接俘获电子这一假设的基础上提出了他自己的一种理论，这个假设在物理学上是靠不住的。他还坚持把自己的理论与天文学联系起来，而反对包括卢瑟福在内的许多物理学家所

提出的令人信服的论证。只是在克莱默斯论文的发表,以及理论计算与实验结果的一致性得到证明之后,他才放弃了自己的理论。但是,如果采用克莱默斯的不透明度定律,那么在把天文观测结果与理论上的质光关系进行比较时,两者的差异在10倍以上。1932年爱丁顿消除了这一差异(斯特龙格伦也独立地做到了这一点)。他的做法是对氢和氦采用大的丰度值,那个时候,罗素已经通过对太阳大气中元素丰度的研究确定了这一点。然而,爱丁顿对于接受后来出现的关于恒星组成并非处处相同这一点却表现迟缓,他实际上很早以前就意识到,只要假设氢是大量存在的,而且恒星的平均分子量接近于1,那就会消除不透明度上的差异。但是这种假设会破坏他关于“恒星发生”的论点;而充分反映爱丁顿特点的是他竟得出这样的结论:“我宁可为这种不一致性找出另外某种解释来。”^[10]

在爱丁顿的许多预言中,关于恒星能源的预言可能是最引人注目的一个。1920年8月24日他在加的夫召开的英国学术协会会议上的演讲,就包含了所有天文学文献中最有预见性的论述^[10]。

只是传统的惰性才使得收缩假说活了下来,或者不如说它不是活在那里,而只是一具没有埋葬的尸体。但是,假如我们决定使这具尸体入土,那么让我们坦率来看一下我们将处于什么样的境地。恒星正是通过我们所不知道的方法而成为某种巨大的能量贮存库的。这个能库几乎只能是亚原子能,而我们知道亚原子能在所有物质中都是大量存在的。我们有时梦想人类总有一天会懂得怎样把它释放出来,并利用它为自己服务。只要能开发出来,这个仓库几乎是用之不尽的。太阳中的能源足

以使它的热量输出继续150亿年……

阿斯顿 (Aston) 进一步确切地证明了氦原子的质量小于组成氦原子的四个氢原子的质量之和。对此，化学家们无论如何是同意他的证明的。在聚合过程中，质量损失了 $1/120$ ，氢的原子量是 1.008 ，而氦的原子量却是 4 。我不准备详细叙述他的这个极妙的证明，因为你们无疑能从他本人那里知道这一点。质量是不可能消灭的，因而亏损部分只能代表了嬗变中所释放出来的电磁质量。因此，我们马上可以算出氢变为氦时所释放的能量。假如最初有 5% 的恒星质量是氢原子，它们逐步聚合成各种比较复杂的元素，那么所释放的总能量将会超过我们的需要量，我们也就无需再去寻找其他的恒星能源了。

假如恒星中的亚原子能量果真可以随意地用来维持它们巨大的核熔炉，那么对于实现我们的梦想看来是走近了一步，这就是设法控制这种潜在的能力以造福于人类，或者相反，造成人类的自我毁灭。

在有关恒星能源的问题上，早一代的天体物理学家会记得爱丁顿在进行辩驳时的一段名言^[11]：

举例来说，有人认为恒星的温度不够高，不足以把氢转变为氦，因而就排除了一种可能的能源——这种论点已经遭到了驳斥。但是氦是存在的，因此批评家鼓吹恒星的温度不足以形成恒星的说法便没有多大的作用，除非他准备向我们证明还存在着一个更热的地方。

五

我一开始就说过，爱丁顿对恒星内部结构的兴趣，来自于

他为寻求对造父变星所表现出来的恒星的可变特性和周光关系作出某种解释所做的努力。里特早些时候对处于对流平衡中气体恒星的绝热脉动状况作了分析，爱丁顿首先把分析的结果加以推广，用在根据他自己的标准模型所建立起来的处于辐射平衡状态的恒星上。然后，再把所得到的周期公式与他的周光关系结合起来，爱丁顿基本上就能对所观测到的造父变星周光关系作出说明。有关恒星可变特性的脉动理论就是这样建立起来的。

爱丁顿对造父变星可变特性的初步分析并没有提供诸如恒星的亮度、有效温度和视向速度这些变量之间的正确位相关系。但他显然意识到，这些位相关系只有通过恒星外层能量传输机制的仔细研究才能搞清楚，因为含量丰富的元素，即氢和氦就是在恒星外层被电离的，并且在那里形成了一些对流区。后来的几年中爱丁顿几次谈到过这个问题。诚然，在他最后发表的一些论文中，有一篇就是专论这个问题的。但是，只是到了后来由于史瓦西、莱托 (P. Ledoux) 和克里斯蒂 (R. Christy) 等人的共同研究，才找到了最终的解答。

虽然爱丁顿对天体物理学的主要贡献是在恒星结构方面，但这决不意味着他对天体物理学其他领域的贡献就不重要了。他发明了一种可用于解决辐射转移中一些问题的近似方法，即“爱丁顿近似法”。他对恒星大气中谱线形成问题的解决方法，在有关恒星大气理论研究的开创性年代中得到广泛的应用。他也考虑过密近双星的反射效应，这是为测定成员星质量而对食双星光变曲线进行分析时所必须考虑到的一种效应。后一项工作中，爱丁顿所考虑的问题就是分层平面大气中有光的后反射和透射这个比较大的问题的雏型，

近年来这个领域已经发展得很成熟。

在上述这些天体物理学的领域中，最重要的可能要算爱丁顿引进了“稀化因子”（这个名字由他发明并沿用至今），以能在确定星际空间电离状态时用它来修正主辐射场的约化强度。爱丁顿又是把“生长曲线”方法应用于星际吸收线问题的第一个人，这个方法由安索尔德(A. Unsold)和明纳埃尔特(M. Minnaert)提出，用于从恒星的吸收线强度来测定元素的相对丰度。

爱丁顿对星系动力学和天体物理学的兴趣集中体现在他的下述预言中：从星际吸收线所确定的视向速度在同银纬的关系上必然表现出有某种变化幅度，而且这个幅度是恒星吸收线所表现的变化幅度的一半。这个预言后来由斯特鲁维(O. Struve)和普拉斯坎特(J. S. Plaskett)通过观测作了绝妙的证实。

关于《恒星内部结构》一书——它包括了目前为止我已介绍过的大部分内容——罗素曾经说道^[12]：

这部著作堪称为是一部第一流的杰作。

六

在我叙述爱丁顿对研究恒星结构的贡献时，只字未提他先后与琼斯和米尔恩(Milne)所发生的接连不断地争论。从目前流行的观点看，当时争论的一些问题好像并不很关键，在对恒星能源的理解上，悬而未决的一些争论要求有不同形式的公式和不同的解决方法。应该说，爱丁顿对待他科学对手的方式并不总是公道的。例如，米尔恩于1929年12月在皇家天文学会上发表了一篇论文后，爱丁顿在答复中写道^[13]：

米尔恩教授并没有深入详细地说明，为什么他得出了与我截然不同的结论。我对这篇文章的其余部分兴致索然，因为要是以为我会相信他有一点点正确的可能性，那将是非常荒唐的。

下面是摘自琼斯在《天文台》杂志上所发表的两封信，这足以说明有时他们进行讨论时所使用的语言是多么尖锐^[14]。

人们在等温平衡方面已经做过大量的工作，因此很难理解爱丁顿教授怎能做到瞒天过海，妄想在这个所谓未被探索过的领域中进行他的开创性工作。但是实际情况确实如此，因为他（除了引用埃姆顿的某些数字计算结果外）完全不参考其他人的理论工作。（1926年8月）

请允许我在结束本信之时谨向爱丁顿教授保证，如果他在将来能中止对他无法加以证实的那些我们所做的工作进行野蛮的攻击，而且一旦发现我的上述工作对他有所裨益时能按照惯例表示他的谢意，从而清除我们之间长期不和的根源，那么这将会给我以莫大的快乐。我着重要求的当然是第二部分，因为我发现由我引入天体物理学的某些最富有成效的思想，比如物质的湮没是恒星能量的来源，以及高度电离的原子和自由电子是组成恒星的物质等，现在简直被公认为是爱丁顿教授的贡献了。（1926年11月）

我想还是用一段令人轻松的轶事来中止这些令人不悦的插曲。

大家知道，爱丁顿有时以欣赏赛马为乐，常常带他的姐姐到“新市场”赛马场去。哈代一定知道此事，因为有一次我听到他问爱丁顿有没有赌过马。爱丁顿承认赌过，“不过

只有一次。”哈代很想知道那次赛马的情况，爱丁顿解释说有一匹叫琼斯的马参加了比赛，而他经不住赌这四匹马的诱惑。问他是否赌赢了？爱丁顿带着他特有的微笑回答说，“没有！”

II

爱丁顿：广义相对论的阐述者与倡导者

在上次的讲演中，我主要论述了爱丁顿对理论天体物理学的贡献，并且就罗素对爱丁顿作为一代最杰出天体物理学代表的评价作了具体说明。在这次讲演中，我将转而介绍爱丁顿作为广义相对论的阐述者和倡导者所做的工作，谈谈他在格林尼治——剑桥考察队对1919年5月29日的日全食观测中所起的作用——这次观测的明确目标，就是要证实爱因斯坦关于光线在引力场中发生偏折的预言，以及在长达十六年以上的时空中在宇宙学以及——用他自己的话来说——在“统一量子论和相对论”方面所做的种种努力。但是和上次相比，我的这次讲演恐怕不会完全令人感到愉快。

我首先要讲的是使人比较愉快的一面。

—

自1905年创立了狭义相对论原理后，在接下来的十年中爱因斯坦的主要精力集中在把牛顿的引力理论同他的那些原理一致起来，特别是要满足这样的要求，即任何信号的传播速度都不能超越光速。在经历了开始阶段的多次失败之后，爱因斯坦在1915年夏秋两季，给柏林科学院的一系列惊人的简短通讯中实现了他的目标。其时正值战争，所以要不是因为荷兰的中立立场以及爱因斯坦和洛伦兹（Lorentz）、埃伦费斯特（Ehrenfest）以及德西特（Desitter）之间的个人

友谊，爱因斯坦成功的消息就不会飞过英吉利海峡（更不用说大西洋了）。德西特把爱因斯坦论文的印本送给了爱丁顿；在1916年至1917年之间又把他自己的三篇论文寄给了英国皇家天文学会，其中一部分内容是阐述性的，一部分则是他本人所作出的贡献。现在已称为德西特宇宙的内容就在这三篇论文的最后一篇中作了叙述。



图 3

（后排自左至右）A. 爱因斯坦，P. 埃伦费斯特，W. 德西特，（前排自左至右）A. S. 爱丁顿，H. A. 洛伦兹
（1923年9月26日，摄于莱顿·德西特的书房）

爱丁顿作为当时皇家天文学会的秘书，必须处理德西特的这些论文。从他在1917年12月皇家天文学会会议上对这三篇中最后一篇论文的说明^[15]，人们可以推测他已经仔细地阅读过这些论文，并亲自对它们进行了审定。

人们总会记得爱因斯坦在系统阐述他的基本场方程的最后一篇通讯中最后作了这样的预言：“任何一个人，只要对这一理论有着充分的理解，那么很少能从它那不可思议的魔法中逃脱出来”。毫无疑问，爱丁顿一定是陷入了这个理论的魔法之中；因为，在两年时间中，他为伦敦物理学会写下了《关于相对论引力理论的报告》，而且这必定是怀着激情写下的一篇报告。爱丁顿的报告不仅写得条理清楚而且简明扼要。因此对于初学者来说，即使在今天，它也不愧为一篇优秀的入门读物。

二

毫无疑问，由于爱丁顿对广义相对论的热情，使得他的密友和同事、皇家天文学家戴逊（Frank Dyson）爵士也被诱入了广义相对论的魔法之中；因为不久他们就在一起为1919年5月29日的日食观测筹划若干项考察活动，用琼斯的话来说，如果“时机到来之际世界文明的形势许可的话”他们便可以按计划行事了。爱丁顿把他自己在制定计划和确保考察结果成功中所起的作用描写为“在我的记忆中，这是我在天文学上最激动人心的事件。”故事有许多有趣的情节，我不知道该从哪里开始为好。我想从爱丁顿同我的一次交谈说起，对此还望诸位不至见怪。

有一次我曾对爱丁顿在前景看来必然十分暗淡的情况下制定考察计划时的科学预见性表示了我的敬佩之意。令我吃

惊的是爱丁顿否认在这件事上有任何功劳，他告诉我，要是只有他一个人的话他是不会制定这些考察计划的，因为他完全相信广义相对论的正确性！他还告诉我他在日食考察中的作用是怎么回事。关于这一点我已经在《皇家学会备忘录与报告集》^[16]中作了记载，但也许你们会允许我再重复地讲一次。

1917年，大战已经进行了两年多的时间，英国颁布了对所有强壮男子的征兵法，爱丁顿时年34岁，年龄正符合条件。但是作为一名虔诚的教友会在会教徒，他是一个受良心驱使的战争反对者；人们知道而且预料他会以此为理由来要求缓服兵役。一次大战期间英国的舆论界对那些因良心驱使的反战者是极为不利的；和这样一个人有联系事实上便是一种社会耻辱。因而当时剑桥的一些挚友，如拉莫（Joseph Larmor）爵士（拉莫进动即以他的名字命名）、纽沃尔（H. F. Newall）教授和其他一些人，就想通过内务部使爱丁顿得以缓役，理由是爱丁顿是一名非常杰出的科学家，让他参军不符合英国的长远利益。莫斯利（Moseley）在加里波利行动中遇害，这一事件对英国科学家造成了很大影响。拉莫等人的努力差不多就要成功了。内务部的一封函件送到了爱丁顿的手中，而他只要签上大名再寄回去便就万事大吉。但是爱丁顿却又加上了附言，其大意是如果由于上述理由仍得不到缓役的话，不管后果如何他都会以受良心驱使而反对战争为理由来要求这一点。不用说，这样的附言使内务部在逻辑上陷入了窘境，因为一名受良心驱使的反战者一旦出现必须被送往集中营；而拉莫等人对此也十分恼怒。但是据爱丁顿对我说，在他看来他们的恼怒是没有任何道理的。正如他所表白的那样，他的许多教友会朋友正在北英格

兰的集中营里削土豆，而他不明白为什么他就不该同他们在一起。不管怎么说，显然由于戴逊的干预——作为皇家天文学家，他和英国海军部有着密切的关系——爱丁顿没有立即应征入伍，但明确规定如果战争于1919年5月结束，爱丁顿应保证在那时带领一个考察团去证实爱因斯坦的预言！

关于这些事情已经公开发表的还有一些略有不同的说法；不过它们只是在着重点和次要情节上有所差异而已。不管怎么说，我们有幸获得了爱丁顿对本人计划的制定和考察完成情况所作的一段论述。他写道^[17a, b]：

光线的弯曲会影响到出现在太阳附近的恒星，因而，只有当月亮把太阳的耀眼光芒完全遮去之时，也就是日全食期间才能进行这种观测。即使在那时候，还是有大量的太阳日冕光线伸展到离日面很远的地方。因此，必须在太阳附近有一些相当亮的星，它们不会被日冕的光辉所淹没。还有，这些恒星的位移只能相对于其他一些恒星来加以测量，后者最好是离太阳比较远、因而位移量比较小的恒星；因此，我们需要一定数量的外围亮星作为参考点。

在迷信时代，希望完成一项重要实验的自然哲学家会去请教占星家为他的实验确定一个黄道吉日。今天，向星星请教的天文学家则有更充分的理由宣布，一年中考察光线的最佳日期是5月29日。理由是太阳沿着黄道作周年运动，在它所经过的地方恒星的密集程度是不同的，但是5月29日这一天，太阳正好位于非常少有的一片亮星——毕宿星团的一部分——之中，这是它的最好的星场，而且比其他地方要好得多。那么如果是在历史上另外某个时期提出这一问题的话，也许得等上数千年

才能在这个幸运的日子发生一次日全食。但我们的运气真是好极了，就在1919年的5月29日发生了一次日食……

1917年3月皇家天文学家戴逊爵士就已注意到了这一大好时机；由皇家协会和皇家天文学会组成的一个委员会开始为进行观测做准备工作……

……计划始于战时的1918年，而人们直到最后时刻还在怀疑是否存在能使考察队出发的任何可能性……戴逊爵士在格林尼治组织了两个考察队，一个奔赴巴西的索布拉尔，另一个去西非的普林西比岛。克洛梅林(A. C. D. Crommelin)博士和戴维孙(C. Davidson)先生去索布拉尔；而科丁汉(E. T. Cottingham)先生和笔者则前往普林西比。

在停战之前要仪器制造商完成任何工作是不可能的；而且因为考察队必须在二月份启航，大量的准备工作急待完成。巴西组日食时的天气是理想的；只是因为一些偶然的情况，他们的观测结果在几个月之后才能得到处理，但最终是他们提供了最有决定性意义的证明。我当时在普林西比。日食那天层云密布，天上还下着雨，几乎是没有任何希望了。接近全食阶段时，太阳才开始隐隐约约地露面；我们的工作按计划进行，希望情况也许不会象看上去那么坏。全食终了之前云层一定是变薄了，因为在多次失败中我们还是得到两张有我们所需要星像的底片。把它们和太阳处于其他位置上时对同一星场所拍摄的底片进行比较，这样它们的差异就表示了因光线在太阳附近经过时的弯曲现象所造成的恒星的表观位移。

以当时我们面前的问题来看存在着三种可能性。也

许光线没有发生任何偏折，这就是说光线可能不受引力的影响。也许出现“半偏折”，这表示如牛顿所认为的那样光线要受到引力的影响，它服从简单的牛顿定律。也可能是“全偏折”，从而证实了爱因斯坦定律而不是牛顿定律。我记得戴逊对我的同伴科丁汉解释过这一切，而科丁汉头脑中的主要观念是：结果数值越大应当越令人振奋。“如果我们得到双倍偏折又会意味着什么呢？”“那么，”戴逊说，“爱丁顿就会疯了，而你只得孤身一人回国去。”

我们预先就准备在观测现场对这些底片进行测量，这并不完全出于性急，而是担心回国途中会出现什么意外，所以立即对其中一张成功的底片进行了仔细的研究。在天文量度中需要寻找的星数是很大的，所以根据一张底片实际上就应当对问题作出判定；不过当然还要通过其他底片来加以证实。日食后的第三天，当计算工作最后完成之时，我知道爱因斯坦理论经受住了这次检验，这种崭新的科学思想一定会被大家所接受。科丁汉不必只身一人回国了。

这次考察的科学研究结果在1919年11月6日由皇家学会会长汤姆逊爵士（J. J. Thomson）主持召开的皇家学会和皇家天文学会联席会议上作了报告。围绕着这次会议的宣传报道之多是异乎寻常的；我清楚地记得卢瑟福在某个场合下曾经又一次提到过这类报道的程度。

那是1933年圣诞节的休假期间，在三一学院礼堂用过晚餐后，卢瑟福、爱丁顿、帕特里克·杜瓦尔（Patrick Duval，一位著名的几何学家）、阿莫斯（Maurice Amos）爵士（20年代曾一度任埃及政府的司法总顾问）和我围坐

在高级休息室的壁炉前交谈。在谈到某个问题时，阿莫斯爵士转过身来对卢瑟福说：“我不明白为什么公众给予爱因斯坦的欢呼声要比给你的还大。毕竟是你发明了原子的核模型，而且这种模型为今天的整个物理科学奠定了基础，它在实际应用上比牛顿的引力定律更具有普遍性。此外，爱因斯坦的预言所指与牛顿理论相差甚微，我不明白所有这种大惊小怪因何而起。”卢瑟福在回答时转过头来对爱丁顿说：“你要对爱因斯坦的名声负责”。接下来他的神情就更严肃了：

大战刚结束，维多利亚和爱德华时代安于现状的心理已被打破。人民感到他们的全部价值和全部理想都失去了方向。现在，突然人们得知，由一位德国科学家所作出的一项天文学上的预言被赴巴西和西非的两个考察队证实了，而且事实上英国科学家在战争期间就已着手准备这项工作。天文学总是感染着公众的想象力，一项超越尘世间纷争的天文学发现引起了普遍的反响。报告英国考察队考察结果的那次皇家协会会议，成了所有英国报纸的头条新闻，而且宣传报道的台风还越过了大西洋。美国新闻界走得更远，他们把爱因斯坦捧到了顶点。

在结束这段叙述之时，我要引用琼斯在把皇家天文学会的金质奖章赠送给戴逊时所说的话^[18]：

在1918年，也就是大战的最黑暗年月里，格林尼治天文台和剑桥大学各自筹划了一个考察队，以便在时间到来之际如果世界文明的形势许可的话就去观测1919年5月的日食，目的是对爱因斯坦的广义相对论进行一次有决定性意义的检验。1918年11月，停战协定签字；考

察队出发了，而在他们归来时所带回的消息则改变了天文学家关于引力本质的概念，也改变了普通人对他们所生活的这个世界在本质问题上的概念，而且这种改变是无可挽回的。如果这一成就的荣誉必须在戴逊爵士和爱丁顿教授之间进行分配的话，我坦率地说真不知道该以何种比率来加以分配。但是在我看来，这个时刻与其来分配荣誉，倒不如说把全部荣誉归功于双方，因为任何一方如果由于缺乏远见，或者缺乏热情，或者缺乏抓住正确时机的能力，从而未能发挥他的作用，那么我怀疑考察队究竟是否会如期出发，而通过观测首次确定时空究竟为何类事物的伟大荣誉也就可能会落入他人之手了。

三

我想再给这个故事作一些补充说明。

在戴逊和爱丁顿做完了有关他们考察结果的报告之后，作为会议主席的汤姆逊发表了如下的意见^[10]：

事实上，牛顿确实已在他的《光学》一书中第一次以提问的形式指出了这一点，而根据他的看法大体上应当得出偏值的一半。但是这项结果却不是一个孤立的结果；它是由许多科学观念构成的某种整体结构的一部分，并且影响到物理学中的一些最基本的概念……。这是牛顿时代以来，在引力理论方面所取得的最重要结果，因而应当在和牛顿密切有关的皇家协会的会议上来加以宣布，这样做是十分恰当的……

如果他的理论是正确的，那就会使我们以一种全新的观点去认识引力。如果证明爱因斯坦的推理完全成立

——它已经受住了与水星近日点及这次日食有关的两次极为严峻的考验——那么它就是人类思想一项最高成就的结果。这一理论的不足之处在于表达上十分困难。看来，任何一个人要是对于不变量理论和变量微积分学没有透彻的认识，那就无法理解这一新引力的定律。

汤姆逊所提到的理解广义相对论的“困难”，在当时以及在很长一段时期内人们也都是这样认为的。确实不久就传说“世界上只有三个人懂得广义相对论”。事实上这种传说就是在这次会议上流传开来的。

爱丁顿（在我前面已经提到过的三一学院那次晚餐后的交谈中）回忆道，在皇家协会和皇家天文学会联席会议散会之际，西尔伯斯坦（Ludwig Silberstein）走到他的面前说：“爱丁顿教授，你无疑是世界上理解广义相对论的三个人中的一个。”当爱丁顿对这种说法表示异议时，他又说“请不必谦虚，爱丁顿。”而爱丁顿却回答道：“不，我正在想这第三个人是谁。”

我可以顺便说一下的是，人们所想像的对于理解广义相对论的这种困难是过分地夸大了：结果使这一课题在几十年时间内停滞不前。六七十年代的许多发展其实很容易在二三十年代就可以实现。

爱丁顿非常喜欢重复戴逊对科丁汉的讲话，“爱丁顿就会疯了，而你只得孤身一人回国去。”因此，在1932年1月皇家天文学会的一次会议上，当佛伦里奇（Finlay Frenndlich）报告^[20]说他的日食考察结果所给出的光线偏差量实质上超过了爱因斯坦的预期值时，爱丁顿又一次引用了戴逊的话，气势咄咄逼人！但是当1923年4月的皇家天文学会会议上报告了1922年里克天文台考察队所取得的一致性结果

时，爱丁顿作了如下的评论^[21]：

我想立下“事说三遍必为真”这一规则的人乃是《怪兽搜捕记》*中的贝尔曼。现在，星星已经把这件事对三个不同的考察队说了三遍；因此我确信他们的答案是正确的。

最后，我想提一下在三十年代末期颇为有名的一个概率论问题，它最初出自格林尼治——剑桥考察队。这个问题以及爱丁顿解决问题的方式显示了他对概率论的深刻理解——在星流研究中爱丁顿必须对大量有误差的观测结果进行综合处理，那时他已对这一理论（作为观测的综合）发生了兴趣。

你们会记得，两个日食考察队分别由克洛梅林和戴维孙（他们去索布拉尔）以及科丁汉和爱丁顿（他们去普林西比）负责。在考察队出发前的一次饭后交谈中，克洛梅林暗示可能会出现下面的情况：

如果C，C'，D和E各自独立地在三次发言中讲了一次真话，并且C肯定了C'所否认的关于D宣称E是说谎者的话，那么E说真话的概率是多少？

爱丁顿在他《科学的新途径》^[22]一书中用A、B、C、D替代C，C'，D，E来陈述这一问题，他给出的答案是25/71。后来他曾经说过“当我匆忙宣布我的答案时，没有预料到我的信件会因此而大量地增加”。许多人，包括丁葛(Dingle)在内，都认为所阐述的问题意义不明确，而爱丁顿所给出的无论如何也不是最显而易见的答案。爱丁顿的意思是，这个

*这是指Lewis Carroll的著作 The Hunting of the Snark——译者注。

问题明确地告诉我们（任何一个通情达理的人都会同意这一点），这里已经发表了两条意见^[23]：

(1) D发表了一条意见，比如说X；

以及

(2) A发表的意思是“B否认了C对X的反驳”。

现在要求的是X为真话的概率。爱丁顿对他的解答作了如下说明*：

我们并不知道B和C发表过任何有关联的意见。举例说，如果B正当当地否认了C对X的反驳，那么就没有任何理由猜想C肯定了X。

我们会发现和已知条件不一致的组合情况只可能是：

(α) A真话，B假话，C真话，D真话；

(β) A真话，B假话，C假话，D假话。

因为如果A是在说假话，我们就不知道B说的是什么；如果A和B两者说的都是真话，我们就不知道C说的是什么。

既然(α)和(β)这两种情况在81次中分别出现2次和8次，D是27次真话和54次假话就减少为25次真话和46次假话。因此，真话的概率是25/71。

尽管不同的意见继续出现，爱丁顿的答案无疑是正确的。

*对于更一般化情况，如果A、B、C、D说真话的概率分别为a、b、c、d，那么同样问题的答案是

$$\frac{d - acd(1-b)}{1 - a(1-b) + a(1-b)(c - 2cd + d)}$$

莱福威奇(L. S. Leftwich)^[24]已经相当详细地说明了这一点。

四

现在我要来谈谈爱丁顿对正统相对论的其他方面贡献。以我个人之见，爱丁顿对广义相对论的最伟大贡献是，在他的《相对论的数学理论》一书中对这个课题绝妙的处理方法。我将继续引用它。此外，在他的数学处理中还间插了许多惊人的格言。我最喜欢的一句是^[2.61]：

空间不是大量点子的密切集合，而是许多距离的互相连结。

下面的段落摘自他的“顾问”琼斯对这本书的评论，它很好地概括了该书与众不同的特色^[2.61]：

体现作者辛勤劳动和仔细严谨的字句俯拾皆是；只要我一节一节地读下去，每一次都会感到对问题的说明是再好不过的了。由于作者对书本所付出的心血，数学家读起来既轻松而又愉快……

本书的文体通篇清晰易懂，简明扼要，处理得十分巧妙；我们可以毫不夸张地说，这本书完全达到了爱丁顿教授使我们有希望于他的高标准。

除了一般的情况外，我想简要地论述一下能说明爱丁顿对正统相对论的理解和认识的三项具体的研究工作。

首先，现代大多数相对论学者都应当熟悉这样的事实：在今天称为事件视界的地方，史瓦西度规的表观奇点乃是选定坐标系统的结果，它并没有更进一步的意义。1924年，爱丁顿明确地给出了一种变换^[2.71]——现在称为爱丁顿-芬克尔斯坦（Finkelstein）变换，从而使这一事实得到了证明。然而，应该说爱丁顿是为了不同的目的而得到这一变换的，

从前后关系来看他不可避免地要专门研究有关坐标奇点的问题。

第二，爱因斯坦关于引力辐射发射率的原始公式是利用变化着的辐射源四极矩推导出来的。鉴于目前对这一公式是否正确存在着一些争论，重温一下爱丁顿早在1922年所做的工作^[2.8]是很有意思的。当时他利用旋转刚性棒对引力能的发射率从头开始进行了计算并取得了正确的答案，同时偶而发现，在爱因斯坦的原始公式中有一个关于因子为2的数字错误。

第三，在1938年发表的一篇论文中，爱丁顿和克拉克（Clark）^[2.9]仔细研究了广义相对论中的N体问题，并且解出了在一阶后牛顿近似（这是今天应该有的名称）中的度规系数；这项工作是独立完成的，与爱因斯坦、英菲尔德（Infeld）和霍夫曼（Hoffmann）的工作没有关系。但是，爱丁顿和克拉克没有把问题化为哈密顿形式，也没有得到与运动方程十个经典积分相类似的公式。他们所关心的主要是质心的运动。他们这个问题的通解要求人们求任意两个作匀速相对运动的参考标架之间的坐标变换，而且变换时始终要满足一阶后牛顿近似，这也就是一种后伽利略变换。爱丁顿和克拉克没有得到这样的一种变换，但他们确实解决了他们专门研究过的有关作相对运动两个质点的一种限制性问题。

前面的这些例子，特别是最后一个，表明了爱丁顿如果关心的话就能够用公式来表示并解决经典相对论中一些深奥而又复杂的问题，但是看来他并没有很关心这类事。

五

在对经典相对论的贡献中，爱丁顿最看重的是他对韦尔

理论的推广——这一理论试图把引力和电磁统一起来。事实上,1954年有人在他的论文中间发现了一份文件^[30],在这份文件中爱丁顿对那些被他认为是他的主要科学成就的贡献,发表了一项非个人观点的意见,其中他对韦尔理论的推广以及“与这有关的、他对引力定律的解释”占显要的地位;后者是指 $G_{\mu\nu} = A g_{\mu\nu}$, 这里 A 为宇宙常数。不管怎么说,他在这种时刻、在这一点上所形成的心理在以后的一些年内具体化而成为一种他事业的永久性的基础。由于这个原因,我将尝试对韦尔理论的本质以及爱丁顿对该理论的推广来作一番简要的解释。

当爱因斯坦系统阐述他的广义相对论时,人们认为整个物理世界只需要用两种场来加以描述,即引力场和电磁场。既然爱因斯坦已经说明了引力场怎样可以同时空结构合为一体,那么自然也应该尽力把电磁场同时空结构合为一体。显然,如果人们要做到这样一种合并,那就必须把爱因斯坦理论的几何学基础加以扩大,其办法是对黎曼几何学作适当的推广。韦尔和爱丁顿试图发现这种形式的推广,他们的做法总的表现为使一个矢量绕着一条无穷小封闭曲线平行地移动。黎曼几何中,矢量在描绘了这样一条封闭曲线后方向会发生变化,但长度则保持不变。韦尔假定长度也会发生变化,变化量同矢量的初始长度成正比;而爱丁顿则允许长度(在开始时)作任意的变化。

在韦尔理论中,为了同它的基本假设相一致,黎曼几何的克里斯托菲尔(Christoffel)联络 $\Gamma_{ij,k}$ 为

$$\Gamma_{ij,k}^* = \Gamma_{ij,k} + \frac{1}{2}(g_{ik}\phi_j + g_{jk}\phi_i - g_{ij}\phi_k) \quad (1)$$

所代替, 其中 $\phi_i (i=1, 2, 3, 4)$ 是一些平滑函数。还有

在韦尔理论中，我们应该要求所有的几何关系和物理定律不仅对任何坐标变换保持不变（同在爱因斯坦理论中一样），而且对规范变换也保持不变，后者就是指下列的变换：

$$\phi_i \rightarrow \phi_i - \frac{1}{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial x^i} \quad (2)$$

其中 λ 为一任意函数，和这些公设一起，韦尔证明

$$F_{ik} = \frac{\partial \phi_k}{\partial x^i} - \frac{\partial \phi_i}{\partial x^k} \quad (3)$$

具有麦克斯韦张量所需要的全部性质，通过这种方法他成功地做到了把引力和电磁统一起来。

作为引力理论，韦尔理论的最重要结果是，如果不存在电磁场，（适用于真空情况的）爱因斯坦方程

$$G_{ij} = 0 \quad (4)$$

由式

$$G_{ij} = \Lambda g_{ij} \quad (5)$$

所代替，其中 Λ 是一个普适常数， g_{ij} 和 G_{ij} 分别为度规张量和爱因斯坦张量。方程(5)中的常数 Λ 是爱因斯坦早在1917年就已作为一种事后的考虑而引入的宇宙常数，目的是使他的理论可以接受一个均匀各向同性的静态宇宙模型。

爱丁顿对韦尔理论的推广相当于用下列公式来代替方程(1)：

$$\Gamma_{ij,k}^* = \Gamma_{ij,k} + K_{ik,j} + K_{jk,i} - K_{ij,k} \quad (6)$$

其中 $K_{ik,j}$ 是某个三级协变张量（在这一步还不具体）。同样，如果不存在电磁场，我们回到包含宇宙常数项的爱因斯坦方程。

根据前面这些方程，我们自然会得出宇宙常数项，这一事实使爱丁顿相信把它包括在爱因斯坦方程中的必要性，因

而这便成了他一些观点的核心。正如他所解释的那样^[31],

在任意一点上沿任意方向的曲率半径与放在同一点上取相同方向的某个具体实物单元的长度之比是一个常数。

或者反过来说,

某一具体实物结构的长度,与这个位置上这一结构所在方向的宇宙曲率半径之比是一个常数。

爱丁顿通过各种方式来表达他的这一核心原理。因此^[32],

我们知道,不管使实物结构调整得与它们周围真空相平衡的实际定律是什么内容,差不多可以说,爱因斯坦引力定律是用量度实物的工具来观察世界的必然产物。

或者还有^[33],

电子不会知道它应当有多大,除非空间中存在着一些独立的长度以使电子能用来量度自身的大小。

确实,爱丁顿认为回到爱因斯坦方程而不带 Λ 项就相当于回到牛顿理论^[34]:

我相信要是放弃宇宙常数,就等于回到牛顿理论。由于他的这种绝对信念便产生了下面这一类极端性的说法^[35a, b]:

如果令 $\Lambda=0$,这意味着回到不完整的相对论——这一步只能认为是退回到牛顿理论。

……宇宙常数的地位在我看来是不可动摇的;即使相对论变得声名狼藉,宇宙常数也将会是阻止它崩溃的最后堡垒。放弃宇宙常数就会使空间遭到破坏。

然而,持有这种见解的并非只是爱丁顿一人。五十年代后期,有一次我曾经问过勒梅特(Lemaitre),以他所见,

在我们基础物理概念中由广义相对论引起的最重要的变化是什么？他毫不犹豫地回答说，“是引入了宇宙常数！”同样，爱因斯坦在1923年给玻尔（Niels Bohr）的一封信中毫不含糊地指出^[36]，

爱丁顿比韦尔更接近真理。

确实，在爱因斯坦所创立的那些最新的“统一场论”中，有一个理论[薛定谔（Schrodinger）也独立地进行了这项工作]和爱丁顿对韦尔理论的推广有许多共同之处。但韦尔的看法则不同。他在1953年写道^[37]：

至于讲到爱丁顿本人对这一理论的创造性贡献，我认为它们主要包括两个方面的内容：首先是他有关辐射场论的概念，其次就是他后来试图用认识论上的一些理由来解释纯数，而这些纯数又同宇宙的结构牵涉在一起
.....

他的第一项贡献无疑已取得了成果。爱因斯坦本人在为这类理论阐述某种作用原理时曾经用到过它（我错误地相信爱丁顿当时已经认为他的辐射场论是不必要的）.....

.....但是我也非常怀疑爱因斯坦最近的统一场论。我敢肯定关于引力本质的最后定论还没有出现，而我则相信这部分内容所在的方向同爱丁顿和爱因斯坦那些最新的概念完全不同。也许一定要经过很长时间之后才能把这个谜解开。

尽管爱丁顿的观点是肯定的，但是宇宙常数后来的历史一直是相当曲折。当人们发现弗里德曼（Friedmann）宇宙模型为解释哈勃膨胀这一简单事实提供了充分的根据之时，爱因斯坦和德西特在一篇联名文章中指出，没有宇宙常数也能

够做到这一点。考虑到对于这种假设性的“撤销” Λ 之举有着许多言过其实的说法，那么把他们两人当时所说过话的正确记录下来是很有意义的^[38]。

从历史上来看，把含有“宇宙常数” Λ 项入场方程目的，是使得我们能从理论上来说明，在一个静止宇宙中存在某种有限平均密度的原因。现在看来，在力学情况中不引入 Λ 也可以达到这一目标……

……但是，从本质上来说曲率(常数 Λ)可以是确定的，而随着观测所得来的资料在精度上有一定的提高，将来我们就能够把它的符号肯定下来，并能确定它的数值大小。

爱丁顿记录了关于他和爱因斯坦的会见，以及在他们论文发表后不久德西特的一封来信^[39]，该信对这个问题从侧面作了一个有趣的说明，并且对人们认为的由爱因斯坦在谈及他撤销 Λ 之举时发表了极端性意见的这种说法表示了怀疑。

嗣后不久，爱因斯坦就来和我住在一起，而我曾就这件事责问了他。他回答道：“我个人认为这篇文章并不十分重要，但德西特却对之顶礼膜拜。”爱因斯坦刚一离开，德西特就来信了，说要来看我。他还说：“你将会看到爱因斯坦和我合写的文章。我本人并不觉得这一结果有多么重要，但爱因斯坦好象认为它很重要。”

那么目前对宇宙常数的看法又怎样呢？人们可以看到流行着两种观点：一种极端的观点[如泡利(W. Pauli)所说的那样]^[40]认为宇宙项是“多余的，没有道理的，因而应该予以抛弃”；而一种温和的观点[如林德勒(W. Rindler)所说的那样]^[41]是“场方程中有宇宙项，这同不定积分中有一个附加常数的情况几乎一样”。自然以采纳温和的观点为好，

因为除了宇宙学问题外， Λ 项是无关紧要的，而且对人们通常所考虑的那些宇宙学模型来说，多了这一项也未必会增加解的复杂性。显然，无论怎么说，任何一位严肃的相对论学者都不可能同意爱丁顿那种“令 $\Lambda=0$ 就会使空间遭到破坏”的观点。

六

请让我在比较轻松的气氛中用一件轶事来结束我对爱丁顿工作的这部分讨论。

1924年，爱丁顿访问了伯克利的加利福尼亚大学物理系。那时，他和一位名叫威廉斯(W. H. Williams)的教授合用一间办公室，他们两人每星期在克莱蒙俱乐部玩两次高尔夫球。在他离别的前晚，教员俱乐部特地为爱丁顿安排了一次宴会；威廉斯教授应邀发言。正如威廉斯所记述的那样^[42]：

……经过一番努力，尽量想保持严肃认真，而结果是我能说的只是一首质量不高的诗。你们都知道，爱丁顿是《爱丽丝奇遇记》的一位书迷。这一点加上把卡罗尔和爱因斯坦合在一起的混乱状态，以及我们两人对高尔夫球这种高贵游戏的不恭敬的处理方式，便构成了下面这首诗的主题。

《爱因斯坦和爱丁顿》

太阳转过了高尔夫球场，
月亮俯视着平静的海洋，
所有的球僮都已离场就寝，
但在那儿还是可以看到
有两位玩球的人

徘徊在十三号球场的护沟旁。

爱因斯坦和爱丁顿

正在计算他们的得分；

爱因斯坦记分牌上写着九十八，

而爱丁顿的得分比这还高。

但见两个人陷入了护沟，

又看到他俩站在那里诅咒。

我讨厌看到这么多的沙子，

爱因斯坦说话了；

我真不能明白

为什么在这里挖上一条沟。

要是有人把这个景色抹平，

我想那真是再好也没有。

如果有七位姑娘用七个拖把

把球场上的草地清扫干净，

我确信最多十六次，

我就能使球进入这个洞里。

我怀疑这一点，爱丁顿说话了，

你的右曲球实在差劲。

这时，所有的小高尔夫球都来了，

来看看他们在做什么事情。

他们中有一些又高又瘦

而另一些则是又矮又胖

其中有几个既圆又光，
但大多数却是扁平状。

时间到了，爱丁顿说，
有好多事情该谈谈了：
谈谈立方体、时钟和米尺，
还有为什么摆锤会摇晃。
空间歪斜到何等程度，
时间又是否有翅膀。

做学生时我懂得了
是重力使苹果往下掉。
而现在你却告诉我
原因只是在 $G_{\mu\nu}$ 上，
我实在不能相信
这才是千真万确的事实真相。

你断定引力的作用
不是一种拉力。
你认为空间基本上空无一物，
而时间却几乎是满而无罅。
尽管我为怀疑你的话深感抱歉，
但这听起来总有点荒唐悖理。

空间是四维的空间
而不只是三维。
关于斜边的平方

也不再是过去的概念。
你对平面几何的所作所为，
真是使我伤心。

你认为时间严重地受到歪曲，
甚至光线也被弄弯：
如果这就是你的意思所在，
我相信我对之已经了解：
邮差今天带来的信件，
明天才会送到你的身边。

如果我以两倍的光速
前往廷巴克图，
今天下午四点动身，
昨天晚上我便已回到家里。
你现在算明白了，爱因斯坦说，
这实在是千真万确一点不差。

但是以水星来说
它绕着太阳在运行，
要是直到生命终结之时
也永远回不到它所经过的地方，
那么我们动手做的事情
最好还是不要开始。

如果过去还没有结束时
未来已经介入，

那么一切事物又有何用；
管他是女皇还是酱油醋？
请再告诉我那总统和主教
到底会有什么用。

爱因斯坦回答说，
最短的线并不是笔直的线；
它自然地绕着圈子弯弯曲曲，
很象一个数字8的样子。
如果你走得太快，
你到达目的地就会很晚很晚。

但是，复活节之日即圣诞节之时，
而远在天边便是近在眼前；
二加二大于四，
那里也就是这边。
你也许对，爱丁顿说，
只是听起来有点令人费解。
不过实在是非常感谢你，
有劳你为解释而费心；
我的头开始发痛，
希望你能原谅我的眼泪；
我感到症状在加重，
脑子正在变得模糊不清。

七

到现在为止，我讨论的主要内容是，爱丁顿对二十年代

中期以前的天体物理学和古典相对论的贡献。1926年他的《恒星内部结构》一书出版了，时年爱丁顿44岁。在以后的十八年中，除了偶而涉足于他早年感兴趣的一些领域外，爱丁顿的全部精力用于证明他所选中的一个特定的宇宙模型，他还进而把这个模型作为他“把量子论和相对论统一起来的基本理论”的基础。我并不主张在任何实际意义上来理解爱丁顿的基本理论。但是，根据爱丁顿本人的说法，他的理论有两个基本前提，而这两个前提，据我判断不是不能成立，便是没有被接受。但是，首先我应该尽可能客观地来解释爱丁顿在宇宙学方面对这一问题的理解。

爱丁顿写他的《相对论的数学理论》一书时，存在着两种宇宙模型，它们都同一个不为零的宇宙常数 Λ 有关*：一个是爱因斯坦宇宙，它是静态的，并处于流体静力平衡状态中；另一个是德西特宇宙，它也是静态的，但在不断地膨胀。这两个模型在理论上都是可能的，并且同有关均匀各向同性的假设没有矛盾。由于在德西特宇宙中存在着某种膨胀现象，天体的距离越远，退行速度越大，而爱因斯坦宇宙不存在这种膨胀，因此爱丁顿在他的《相对论的数学理论》一书中已经选择德西特宇宙作为天文学宇宙的一种模型，认为德西特宇宙的可能性更大些。他是根据当时他所能得到的很少的一些观测资料而作出这一选择的。

在爱因斯坦宇宙和德西特宇宙中，所有的度规系数都和时间无关，从这个意义上说它们都是静态的。后来认识到德西特宇宙尽管表现有膨胀，但它的静态特性是因宇宙中不存在任何质量密度造成的。因此，在那个时候爱因斯坦宇宙便

*我没有把弗里德曼在1922年发现的非静态解包括在内，因为它们只是在几年以后才广为人知。

是不表现有任何运动的唯一宇宙模型。正如爱丁顿对这种情况所作的总结那样^[43]：

爱因斯坦宇宙包含有物质但没有运动，德西特宇宙包含有运动但没有物质。

然而，在1922年发表的一篇论文中，弗里德曼证明了爱因斯坦方程允许均匀各向同性的非静态宇宙模型。1927年勒梅特再次发现了相同的解，他的工作与弗里德曼无关，并且相当详细地叙述了这一理论对天文学的影响。爱丁顿理解了勒梅特的论文，并在自己的著作中作了广泛的宣传。既然现在 A 成了一个可以取正值、零或负值的参数，人们就有了可供选择的各种宇宙模型。这些模型为同天文观测事实进行比较而提供了广泛的基础。但从一开始，爱丁顿的兴趣就集中在这一系列可能模型中的一个具体成员上。在他选中意的那个模型中，宇宙最初是某种爱因斯坦宇宙，质量(M)和半径(R_E)之间有着这样的关系：

$$A = \frac{1}{R_E} \text{ 和 } \frac{GM}{c^2} = \frac{1}{2} \pi R_E, \quad (7)$$

后来由于它的不稳定性(这一事实已为勒梅特所证明)，宇宙开始膨胀，其实收缩也是完全可以的，但爱丁顿和其他一些人证明了最初的凝聚状态导致膨胀的可能性要比收缩来得大。

为什么爱丁顿挑选这种特定的模型来说明天文学上的宇宙呢？他是这样解释的^[44]：

我是一名正在搜寻罪犯的侦探，这罪犯便是宇宙常数。我知道他是存在的，但不知道他的外貌，比如说我不知道他是高个还是矮个。

爱丁顿力图弄清他那位“罪犯”的“外貌”，他所采用的方法大致遵循以下的思路。

对于在不变电荷的电磁场中运动的一个电子来说，狄拉克方程中与电子质量 m_e 有关的项是 $m_e c^2/e^2$ 。爱丁顿力图说明这一项是由于宇宙中所有其他粒子的存在而出现的。说得更确切一点，他认为这是同作了适当均分的宇宙中其他电荷进行“能量交换”的结果；他还证明了这一项必然是 \sqrt{N}/R_E ，其中 N 是宇宙中的粒子数， R_E 是原始爱因斯坦静态宇宙的半径，这里没有考虑大小为1左右的一个数字系数。这样他便得到了下面的关系式：

$$\frac{\sqrt{N}}{R_E} = \frac{M_e c^2}{e^2} \quad (8)$$

但是，我们还有关系式（参见方程(7)）

$$\frac{Nm_p}{c^2} = \frac{1}{2} \pi R_E \quad (9)$$

其中 m_p 表示质子的质量。利用这两个关系式我们发现

$$N = \frac{\pi^2}{4} \frac{e^4}{(Gm_p m_e)^2} = 1.28 \times 10^{79}$$

以及

$$\frac{1}{A} = R_E = \frac{1}{2} \pi \frac{e^4}{Gm_p m_e^2 c^2} = 1.07 \times 10^9 \text{ 光年} \quad (10)$$

爱丁顿认为这两个数值和观测结果符合得很好，因而他感到已经找到了他的“罪犯”。根据这一点，他对他那些论点的可靠性深信不疑。事实上，1943年爱丁顿在都柏林高等研究院所作的一系列讲座中曾经声称^[45]：

在过去的十六年中，我从来没有对我这一理论的正确性有过任何的怀疑。

现在应当来问一下爱丁顿宇宙模型目前的地位如何。由于1944年以来我们知识的进步，几乎可以肯定地说这不是正确的宇宙模型。证据主要来自宇宙3K黑体辐射的发现以及

氢起源于原初阶段这一事实。

宇宙中充满了均匀各向同性的辐射场，该辐射场具有温度为3K的普朗克分布。这一事实意味着，宇宙自从辐射温度为4000K、物质和辐射互相分离以来已扩大了大约1350倍。同样，由核合成所产生的原始氦也意味着宇宙在某个时期曾经处于这样的一种状态：当时的密度约为 $1000\text{克}\cdot\text{厘米}^{-3}$ ，温度约为 10^9K 。这两个要求又进一步意味着那个时候的宇宙半径一定要小 10^9 倍。宇宙半径有这样大小的变化同爱丁顿的宇宙模型是完全矛盾的。

1944年6月9日，这时离开他逝世只有5个月，爱丁顿在皇家天文学会会议上最后一次露面时提交了一篇论文，题为《星系的退行常数》。会上，爱丁顿说方程(10)结出的 Λ ^[46]：

是宇宙常数

并且进一步说：

……宇宙演化的时间尺度一定小于 90×10^9 年，而且在我看来突破这一限制是没有多大希望的。

在论文介绍完后，爱丁顿和麦克维蒂(G.C.McVittie)进行了下面这段对话^[47]：

麦克维蒂博士：你的理论似乎完全建立在从爱因斯坦宇宙开始膨胀的那个模型之上。我们知道，对“宇宙深处”旋涡星系分布情况的观测结果，为在不同宇宙模型之间作出鉴别提供了一种非常妙的检验标准。如果观测恰恰没有选中你所用的那个特定宇宙模型，你的理论又将如何呢？

爱丁顿爵士：我认为，在很长一段时期内我们不会取得足够精确的资料以能使这一问题得到解决，所以我

认为我不需要考虑这种或许可能发生的事情！我们只能力求通过其他方法来作出判断，而不是通过与观测结果进行直接的比较。

爱丁顿所指的可能发生的事情已经发生了；而麦克维蒂的问题仍然没有得到解答。

八

我已经对爱丁顿把宇宙中的粒子数和原子常数联系起来的推理思路作了说明。为了进一步发展他的理论，他需要计算出在原始爱因斯坦静态宇宙的可用相空间中 h^3 体积内的单元数目。在爱丁顿看来，所需要做的计算，同推导出符合泡利不相容原理的某种简并电子气体状态方程时人们所做的计算相比，如果不是相同那也是有着密切关系的。因为我也卷入了这一问题的旋涡之中，所以我要来念一段爱丁顿在这一点上对他思想演变过程所作的详细说明，他是在1936年夏天哈佛大学文学和科学三百周年纪念大会上讲这段话的^[48]：

……在恒星内部，一千万度的高温使大多数电子脱离原子远走高飞，而原子中所剩下的只是一个极其微小的结构。原子或者说离子的尺寸大大地缩小，它们越挤越紧，直到密度增大1000 000倍。正因为如此，在恒星内部密度大大增高之时仍然继续保持理想气体状态。太阳以及其他一些密度比较高的恒星始终服从适用于理想气体的理论，这是很自然的，因为组成它们的物质是理想气体。

因此，没有什么因素能阻止恒星物质不断压缩，到达极高的密度；这本身意味着对于称为白矮星的一类恒星利用观测资料所算得的密度尽管高得使人感到不可接

受，但也许完全是真实的。

在得出这一结论的过程中，我并不是没有一点疑虑的。我在担心这些超密星最终会发生什么情况。恒星似乎自行处于一种进退维谷的难堪状态。最后，恒星中所储存的亚原子能量总是会用完的，而这时恒星便必然地会冷却下来。但是这可能吗？巨大的密度可能是由使原子粉身碎骨的高温造成的。如果物质冷却了，它也许会回到地球的密度。但是这意味着恒星必然要膨胀到大约现有体积的5000倍那么大。然而，膨胀需要能量——克服重力做功；而恒星看起来已没有任何可供消耗的能量储备了。如果恒星不断地失去热量，而又没有足够能量来使之冷却，那么它究竟要干什么呢！

亚当斯教授及时地证实了天狼星伴星有着很高的密度，但是这个谜仍然存在。不久，福勒(R. H. Fowler)教授赶来救急了，为此他在一篇著名的论文中，应用了刚发现的波动力学的一个新成果。这显然是一个巧合；就在天文学上发现了超高密度的物质之时，数学物理家们也正完全独立地把注意力转向同一个课题。我想在1924年之前从来没有人对密度特别高的物质作过认真的考虑；但正当它在天文学中突然出现时，在物理界中也出现了。福勒证明了最近发现的费米-狄拉克统计法把恒星从我所担心的厄运中解救了出来。

物理学家们不会满足现状而止步不前的，他们着手对福勒公式加以改进。他们指出，以白矮星的条件而论，电子的速度会接近光速，因而应当存在着一些福勒没有考虑到的相对论效应。结果，称为普通简单公式的福勒公式后来为一个新的公式所代替，后者称为相对论

简并公式。一切看来都很好，可是后来钱德拉塞卡所作的某些研究表明了这样一个事实，即相对论公式把恒星又放回到困境之中，而福勒就是把它们从这种困境中拯救出来的，情况完全一样。小的恒星可以冷却下来，这是没有问题的，它们以一种合理的方式结束其一生，最后变为暗星。但是超过某个临界质量（太阳质量的2~3倍）后，恒星决不会冷却下来，而一定是继续发出辐射，并且继续收缩，直到天知道它会变成什么东西。这并没有使钱德拉塞卡感到担忧，他似乎喜欢恒星以这种方法演变，并且相信这就是实际上所发生的情况。但是我和十二年前一样，反对这种有关恒星的玩笑；至少这是非常奇怪，从而使我怀疑所用到的物理公式一定在什么地方出了毛病。

我对公式——所谓的相对论简并公式——作了仔细的检查，我所得出的结论是，它是相对论和非相对论性量子论的某种混合物。我认为由这种结合所产生的后代是不合法的。相对论简并公式，也就是目前所应用的公式，实际上是没有根据的；而且，也许令人颇为吃惊的是，正确应用相对论所导出的公式是普通公式，也就是已经被每个人所抛弃的福勒的原始公式。我发现在发表这些结论时我便成了众矢之的*，这是不足为奇的；在我耳边已经有物理学家们的嗡嗡声了，但我想我还没有被刺痛。总之，对于这次讲座来说，我想我还不至于当众丢丑。

我要冒昧地提到这项研究中的个人方面问题，因为

*原文直译为“我便把自己的脚伸入了黄蜂窝中”，因而有后面的“嗡嗡之声”和“刺痛”之说——译者注。

它表明了不同的科学分支如何密切地连结在一起。当我因钱德拉塞卡的研究结果，而对相对论简并公式产生怀疑时，要我挤出时间来把这个问题追究到底却是一件很麻烦的事，因为当时我正全力以赴地从事着属于不同思想领域的一项长期研究。这项工作用去了我六年的时间，已接近于完成，剩下的只有一个问题需要加以解决，那就是对宇宙常数作精确的理论计算。但是在这点上我完全被难住了。然而，我有四个月的轻松时间，而我曾经想在这一问题上狠下一番苦功——所谓作最后的努力。但是由于开始思考简并公式时没有谨慎从事，所以我又不可能把它丢开不管，这就花去了我的时间。几个月一晃就过去了，但在宇宙常数问题上我却什么事也没有做。后来，有一天在我试图用各种观点来检验我的简并性结果时，发现在一种极限情形下，它成为某个宇宙问题的一部分。这正好对被我撇在一边的那个问题开辟了一条新的研究途径，而通过这条新途径问题就可以得到解决而没有太多的困难。现在我可以理解，用其他任何方法都是很难做到这一点的；如果我把四个月的时间花在我曾经打算做的正面防线攻击上，那要取得任何进展的可能性是很渺小的。

几天前，我向数学部宣读了一篇论文，其中计算了旋涡星云的退行速度以及宇宙中的粒子数，这篇论文有着天文学的血统。然而，它并不是因为对旋涡星云的考虑而提出来的。它是研究天狼伴星和其他一些白矮星的结果。

让我来解释一下争论的一些要点在什么地方。作为福勒关于白矮星物质状态讨论基础的简并电子气理论，同因为索

末菲 (Sommerfeld) 的金属电子论而已经变得尽人皆知的理论是完全一样的。支配这样一种电子气的状态方程是

$$p = \frac{1}{20} \left(\frac{3}{\pi} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{h^2}{m_e} n^{\frac{5}{3}} \quad (11)$$

其中 p 表示压力, n 表示每立方米的电子数。然而, 对于普遍情况下白矮星中心所具有的密度条件来说, 那些处于费米阈值的电子开始具有能和光速相比的运动速度。如果就这种环境条件加以修正, 修正时所用的方法在当时是很普通的, 而且到今天仍然广为采用, 那么人们会发现状态方程和方程 (11) 给出的形式有所不同。当电子浓度非常高时, 极端情况下的方程形式趋向于

$$p = \frac{1}{8} \left(\frac{3}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} hcn^{\frac{4}{3}} \quad (n \rightarrow \infty) \quad (12)$$

爱丁顿认为“没有根据的”正是状态方程的这一修正形式。

一种是应用状态方程的非相对论性形式公式 (11), 另一种是应用严格形式的公式, 即对于低密度极端情况是式 (11), 而对于高密度极端情况为式 (12)。下面便是上述两种情况所造成的结果。

根据非相对论性的状态方程 (11), 人们发现处于平衡状态中恒星物质的半径与质量的立方根成反比。因此, 对于各种质量来说都有可能达到有限的平衡结构。爱丁顿认为特别满意的也正是这个事实。然而, 如果应用高密度极端情况的严格形式状态方程 (12), 人们发现一旦质量超过下列的极限, 任何形式的平衡状态也不可能达到了:

$$M_{\text{limit}} = 0.197 \left(\frac{hc}{G} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{1}{(\mu_e H)^2} = 5.76 \mu_e^{-2} M_{\odot}, \quad (13)$$

其中 μ_e 是每个电子的平均分子量。图4说明了人们所得到的完整的质量-半径关系^[40]。

爱丁顿正是把这一事实——对于超过极限(13)的质量来说不存在有限的简并态恒星结构——看作为“恒星玩笑”。正如他在早先的一篇文章中所说的那样^[50]：

钱德拉塞卡应用最近五年来一直为人们所接受的相对论公式，证明了质量大于某个极限 μ 的一颗恒星将始终保持理想气体状态，它永远不可能冷却。这颗恒星一定会不断地发出辐射，同时不断地收缩变小，我想，这个过程一直要进行到恒星半径缩小为几公里时才会停止，这时引力强大得足以使辐射受到压抑，而恒星也终于可以归于平衡了。

钱德拉塞卡博士是在早些时候获得这一结果的，但是他在最近的一篇论文中反反复复地讲到这一点；而就这一问题和他进行讨论时，我感到不得不得出这样的一种结论：这个结果差不多可以算是对相对论简并公式的一种归谬证法。可能会因各种偶然性事件的介入，而使这颗恒星免遭厄运，但是我想得到比这更强的保护机制。我认为应该存在某种自然规律，它会防止恒星按照这种荒唐的方式发展演变！

从这段话可以清楚地看到，爱丁顿在1935年就已经充分地认识到，如果对于简并结构的质量存在着某个上限，那么，我们必须考虑导致我们现在称之为“黑洞”的那种天体形成的引力坍缩的可能性。但是他就是不愿意接受一个他如此有预见地得出的结论；他自信“应该存在某种自然规律，它会防止恒星按照这种荒唐的方式发展演变！”

此外，我们应该问一下，在这一问题上爱丁顿的那些信

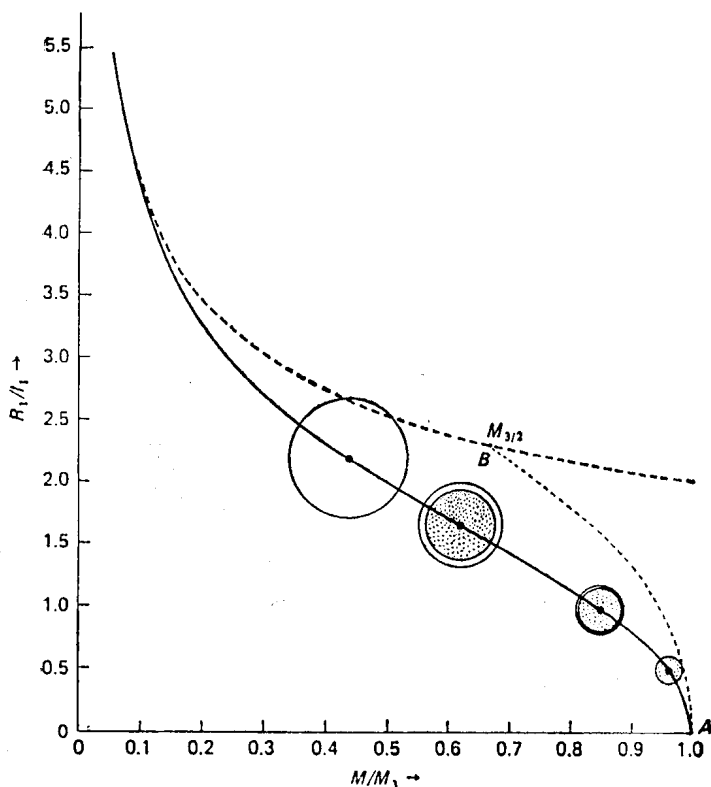


图4 实线代表了适用于全简并状态结构的严格
(质量-半径)关系

横坐标是质量，以极限质量（用 M_3 表示）为单位，纵坐标是半径，以 $l_1 = 7.72 \text{微米}^{-1} \times 10^8 \text{厘米}$ 为单位。虚线代表了服从状态方程(11)的质量-半径关系；在这条曲线的 B 点位置上，结构中心电子的阈动量 p_0 恰好等于 $m_e c$ 。在代表严格关系的曲线上画着一个整圆（指不带阴影部分的那个圆）的地方，（中心位置上的） p_0 又一次和 $m_e c$ 相等；其他圆中的阴影部分代表了在这些结构中可以把电子看作为相对论性电子（ $p_0 > m_e c$ ）的那部分区域。

念目前的状况又如何。简单而又直截了当的回答是它们没有被接受。现在既不是时候也没有时间来说明极限质量的存在是如何必然地会编织出现代的天文挂毯——在这幅织造物上表现有关于恒星演化和引力坍缩的复杂图案，前者是指某些恒星高密度核内的核燃烧，后者则导致超新星现象、中子星（这些星有着近乎相同的质量）和黑洞的形成。所有这些图案甚至对最漫不经心的观察者来说都是可以辨认出来的。至于我个人，想要说的只是我很难理解，为什么爱丁顿作为广义相对论最早和最坚定的支持者之一，居然会对黑洞可以在恒星演化的自然过程中形成这一结论感到如此地难以接受。

九

因此看来爱丁顿在他的“基础理论”中所构筑的大厦有两根支柱已经倒塌了。如果暂时把这一事实撇开不谈，那么对于结构本身我们会了解些什么呢？这里有两种看法^[51, 52]。

爱丁顿的工作如果正确的话那是极其重要的，但是大多数试图了解他工作的人并没有能同意他的那些结论。他的一些论文在某个论点上是非常清楚的，然后在关键的一刻它们便变得令人难以理解，接下来在推断出一些重要的结果之后又重新变得十分明确。当然，利用现成的公理和假设从逻辑上来推导出这些结论是做不到的，爱丁顿本人也知道这一点。有一次在同笔者作了长时间而又收益极少的讨论之后，爱丁顿说：“对于这个证明我不能完全理解，但我肯定结果是正确的。”（威尔逊，A. H. Wilson）

爱丁顿的“统一理论”除了它难以理解这一点外，

所解释的内容也实在是太多了；事实上它对什么都作了解释，而迄今为止人们通常总会发现这种理论对什么也没有作出解释。充其量它也只是片断性的工作；就象达·芬奇的科学研究一样，它所包含的洞察力的闪光，只是在通过完全不同的途径和方法把其中有重大意义的内容充分发掘出来之后才有可能为后代人所赏识。（克劳瑟，J. G. Crowther）

然而，即使爱丁顿的大厦也许有一部分已经成了废墟，仍然还挺立着一些高大的柱子，对此是不能有什么怀疑的。举一个例子就够了。在处理狄拉克方程的过程中，爱丁顿改进了 E 数算法，这基本上是有十六个元素的群代数，这些元素满足狄拉克矩阵的反射易定则。这一改进本身便是一项相当了不起的成就；而它在目前重新激起的对克利福德代数的好奇心中已经产生了重要的反响。爱丁顿所作改进的基本元素如下。

爱丁顿一开始用下列的表示定义了五个 E 数：

$$E_1 = \begin{vmatrix} i\sigma_1 & 0 \\ 0 & i\sigma_1 \end{vmatrix}, E_2 = \begin{vmatrix} i\sigma_3 & 0 \\ 0 & i\sigma_3 \end{vmatrix}, E_3 = \begin{vmatrix} 0 & -\sigma_2 \\ \sigma_2 & 0 \end{vmatrix},$$

$$E_4 = \begin{vmatrix} i\sigma_2 & 0 \\ 0 & -i\sigma_2 \end{vmatrix}, \text{ 和 } E_5 = \begin{vmatrix} 0 & i\sigma_2 \\ i\sigma_2 & 0 \end{vmatrix}, \quad (14)$$

其中 σ_1 , σ_2 和 σ_3 是 2×2 泡利矩阵。这些 E 数满足对易定则，

$$E_\mu E_\nu + E_\nu E_\mu = -2\delta_{\mu\nu} \quad (\mu, \nu = 1, \dots, 5) \quad (15)$$

和

$$E_1 E_2 E_3 E_4 = i E_5 \quad (16)$$

爱丁顿代数的十六个元素是

$$i, E_\mu \text{ 和 } E_\mu E_\nu \quad (\mu, \nu = 1, \dots, 5; \mu \neq \nu) \quad (17)$$

爱丁顿又进一步把 E 代数的平方定义为 16×16 的复矩阵。这一“双重 E 标架”与九维基本空间中的三种克利福德代数中的一种相对应。由于最近有关超对称规范场方面的工作以八维或九维克利福德代数为基础，因此爱丁顿在这方面远远地走在他所处时代的前面。

爱丁顿相当重视去寻找幂等 E 数，也就是寻找这一代数中满足 $E^2 = E$ 的那些元素 E 。这些元素是量子电动力学中有关动量和自旋的投影算子。最后，由于他意识到在实数范围内 E 代数是五维的，从而使他（在粒子物理学中第一次）引入了“手征性”的概念，这是通过对方程(16)右边作 $+i$ 或 $-i$ 的选择而推导出来的。还应该指出的是爱丁顿是认识 4×4 实矩阵代数及其意义的第一个人。这一代数后来为马约喇纳（E. Majorana）所发现；在物理学文献中它通常称为“马约喇纳旋量”。

十

作为演讲的结束，我想通过爱丁顿的一些著作来对他在科学研究上的变化着的态度作一番简短的探索。如果我们把这些态度和他的研究方向并列在一起，那么也许我们就能对他力量的源泉和弱点之所在有所了解。

1920年，在他对英国学术协会所作的关于“恒星内部结构”的演讲（我们早些已经引用过其中的内容）中，爱丁顿相当详细地讨论了推测和理想化模型在科学探索中的地位。他是这样说的^[63]：

*我非常感谢沙林格罗斯（N. Salingaros）博士，是他使我注意到爱丁顿在 E 数方面所做工作的意义和重要性。

……我不知道什么是我们可以用来检验科学理论的合理发展和抛弃无用的推测的试金石。我们都知道有一些理论被科学思想看作为无用的猜测而自然地遭到了抛弃；但是要做到说清楚它们的缺陷，或者提供某种规则以便一旦我们自身确实犯了过错它就会给我指出来，那可并不容易。通常认为推测和作假设是同一回事；但是在更多的场合中它们是对立的。正是当我们让自己的思想在可尊敬的、然而有时却是靠不住的那种假设的外围游荡时，我们被说成是在进行推测。假设使推测受到限制。而且，对推测的怀疑往往成为思维不严谨的庇护所——一些混乱的观念侵入我们的脑海之中，影响到我们的观点；另一方面是推测过份，以致没有让它们去接受会对它们驱邪除魔的科学上的彻底检查。

如果我们不满足于一味地积累实验事实，如果我们作了一些推论和概括，如果我们寻求一种理论来指导我们，那么进行某种程度的推测是不可避免的。有些人总是喜欢看上去非常直截了当的那种解释，并且立即把它作为一种假设；另外一些人则宁可想方设法去寻找和事实并不完全矛盾的最广泛的可能性，并对这些可能性进行分类。无论挑选哪一种观点都有它的危险性：第一种观点也许太狭窄，结果会走入死胡同；第二种观点可能牵涉面太广，所以作为一种指导思想是没有好处的，并且会同实验知识分道扬镳，越走越远。发生后一种情况时，所得出的结论必然是：知识还没有完善到适合于作理论处理，推测也还没有成熟。当推测性理论和观测性研究可以做到互相配合，携手前进之时，也就是可能性——或者至少说是机遇性——能够通过实验受到限制、

而理论可以把那些使遗留下来的错误途径逐条得以排除的一些检验方法指点出来的时候。

数学物理学家处在特别困难的地位上。他也许算出了具有特定性质的某种理想物质模型的变化特性，同时又服从一些严密的数学定律，到这儿为止他的工作是无懈可击的。这决不是什么推测性的，就同二项式定理不是推测出来的一样。但是，当他认为他的那个玩意儿有着某种正经的意义，当他感到他的模型可能象自然界中所存在着的某种东西时，他不可避免地要开始作推测。这个现实的天体真的同理想模型一样吗？难道就不会在其他我们所不知道的条件从中插一手吗？对此他是无法肯定的，但是他不可能不进行比较；因为正是不断地观察自然才引导他选择了某个课题。他必然经常会认识到的一个普遍性错误是利用经验更丰富的观测家对之摇头的那些观测资料来进行比较；这些资料是很不可靠的，不能广泛地作为比较的依据。但即使在这点上理论还是可以为观测出力，这就是指出哪一类观测资料特别需要加以改进。

我认为，如果研究工作在正确观点的指导之下来进行，那么比较没有根据的推测就可以避免。一旦理想模型的性质通过严密的数学方法计算出来了，同时对所有的基本假定又有了清楚的理解，那么就有可能说，正是由于如此这般的性质和规律才会取得如此这般的效果。如果存在别的什么没有考虑到的因素的话，那么在同自然进行比较时它们马上就应该暴露出来。当模型和观测不完全一致时没有必要感到失望；它的目的已经达到了，因为它已辨认出需要用新的条件来作出解释的真实

现象的特征是什么。大体上同观测取得初步的一致是必要的，不然模型就没有希望了；这并不是说就目前而论它一定是错误的，而是说它把比较不太重要的一些性质放到了第一位。我们一直是拉着死结错误的一端，一定要通过不同的途径才解得开来。但是，在同观测取得了大体上的一致，并且这个死结开始松动之后，我们总是应该准备着解决下一个难题。我想，应用数学家不应该因为他们的理论刚刚在观测面前通过一项更为严峻的考验而感到心满意足，他们应该感到失望——“又没有成功！这一次我原来希望发现某种不一致的地方，以便能有助于指出可以对我的模型加以改进的一些关键之点。”也许这是一种不能兑现的理想；我承认我从来没有非常强烈地感受过这一类的失望。

我们的自然模型不应该象一幢大楼——使人们赞叹不已的一座建筑物，到头来随着时间的流逝会有人从中抽掉一块基石，而整个大厦也就垮下来了。它应该象一台有着可动部件的发动机。我们不需要把任何一根杠杆的位置固定下来——也就是应该根据最新观测的指示而随时地加以调整。理论家的目标就是要知道由杠杆带动的轮系——也就是作为发动机灵魂的各个部件的联结系统。

在上面的这段发言中，几乎没有任何可以作为一个严肃的、老练的理论天体物理学工作者所反对的内容。爱丁顿在结束这一次所报告的关于“恒星能量的源泉”的讲演时作了谦虚的评价^[64]：

我本想把话题一步一步引向某个精彩的高潮从而结束这些讲演。但是也许与科学进步真实情况更相符合的

是，它们应该表现为黑暗中闪光一现然后再熄灭重归黑暗，而这一下闪光正标志了现有知识的前沿。我并不因这样一种不完美的结束语而感到歉意，因为这并不是一种结论。要是我能感到自己确信这甚至只是一个开端，那就再好也没有了。

这和我所了解到的科学探索方法是完全一致的。在两年后所说的下面这段话中已经可以看出态度上的某种变化^[55]：

在科学中，有时候我们会对一个我们十分喜爱然而又无法加以证明的问题的正确解决充满信心；我们会受到对事物合理性的某种内在识别感的影响。

不久，爱丁顿对他有关宇宙常数的观点、对有关他的宇宙模型、相对论简并性、黑洞形成的观点，以及实际上对有关他对“量子论和相对论的统一”的全部研究工作的观点都变得过于自信。从有关这些方面我所读到的从他的著作和讲演中摘录出来的许多内容来看，这一点是非常清楚的。爱丁顿态度上的这种急剧变化只要进行一番比较就会看得非常清楚：1926年他对自己有关恒星内部结构工作做了谦虚的评价，而10年以后他在对我所说的话中则充满了自信：

……你是从恒星的角度来观察它；我是从自然的角度来观察它。

很清楚，这个时候，爱丁顿的观点不再具有那种不属于过于自信的信心了。

尽管爱丁顿表示出对他自己的基础理论的正确性充满信心，但他一定曾经因为自己的工作没有受到同时代人的重视而深感沮丧。1944年末他给丁格尔写了一封语调低沉的信，信中流露出了这种沮丧的心情^[56]：

我一直在想办法弄清楚为什么人们会对这一过程感

到难以理解。但是我要指出，即使是爱因斯坦也被看作是难以理解的，而且有许多人认为有必要来对他进行解释。我不可能真的相信对我所做工作之难以理解已到达狄拉克的程度。但是对爱因斯坦和狄拉克来说，人们却认为克服困难去弄懂这种难以理解的内容是值得的。我相信，当他们意识到他们必须这么做，因而也就是当“解释爱丁顿”成为一种时髦的时候，他们是会正确理解我的。

而下面这段话读过之后是令人难以忘却的^[57]：

在他最后的年月里，由于长时间的想入非非，脸色灰白，犹如鬼魂，并且因感到痛苦而变得扭歪了。

在他的《1920年英国学术协会答辞》中，他讲到了蒂达洛斯和伊卡洛斯的故事^[58]，也许在这个时候爱丁顿已经预见到了他未来的科学探索方向：

古代有两个飞行员，他们给自己装上了翅膀。蒂达洛斯在不太高的空中安全地飞行，越过了大海，在他着陆的时候理所当然地受到了赞誉。年青的伊卡洛斯迎着太阳朝高处不停地飞去；最后，粘结翅膀的蜡溶化了，他的飞行也就以失败而告终。在衡量他们的成就时，也许要为伊卡洛斯说几句话。第一流的权威告诉我们他只不过是“在做一次特技飞行”，但是我喜欢把他看作为这样的一个人：是他把他那个时代飞行器的某种结构上的缺陷明确无疑地揭露出来了。所以，在科学研究中，小心谨慎的蒂达洛斯也会把他的一些理论用在他感到最安全的地方，以使理论得以平安无事地发挥作用；但是，因为他过份小心，理论的潜在弱点就不可能被揭露出来。伊卡洛斯希望他的理论张紧到要绷断的程度，这

样，不牢固的结合部便会裂开来。只是为了作一次惊人的特技飞行吗？也许这有一定的道理；他往往是很有人情味的。但是，如果他命中注定到不了太阳，也决不会解开太阳结构之谜，那么我们还是可以有希望从他的旅行中得到某些启示，来建造出一种更好的飞行器。

所以，今天我们怀着崇敬的心情来纪念一位伟人，他曾经无畏地迎着太阳飞腾。

参 考 文 献

1. *Astrophys. J.*, **101**, 133 (1945).
2. *V.D.*, 103.
3. *J.G.C.*, 177, or *S.A.*, 24.
4. *N.P.S.*, 207.
5. *Ibid.*, 170.
6. *S.U.W.*, 33.
7. *Ibid.*, 54-6.
8. *J.N. & W.P.*, 120-1.
9. *I.C.S.*, 15-16; 245.
10. *Observatory*, **43**, 353-5 (1920).
11. *Nature*, May 1, 1926 (Supp.), No. 2948, p. 30.
12. *Astrophys. J.*, **101**, 134 (1945).
13. *Observatory*, **52**, 349 (1929).
14. *Ibid.*, **49**, 250 and 335 (1926).
15. *Ibid.*, **40**, 424-6 (1917).
16. *Notes & Records Roy. Soc. Lond.*, **30**, 249 (1976).
- 17a. *S.T.G.*, 113-14.
- 17b. *J.N. & W.P.*, 140-2.
18. *Mon. Not. R. Astr. Soc.*, **85**, 672 (1924-5).
19. *Observatory*, **42**, 389-98 (1919).
20. *Ibid.*, **55**, 5 (1932).
21. *Ibid.*, **46**, 142 (1923).
22. *N.P.S.*, 121.
23. *Math. Gazette*, **19**, 256-7 (1935).
24. *Ibid.*, **20**, 309-10 (1936).
25. *M.T.R.*, 10.
26. *Observatory*, **46**, 193 (1923).
27. *Nature*, **113**, 192 (1924).
28. *Proc. Roy. Soc. (Lond.) A*, **102**, 268 (1922).
29. *Ibid.*, **166**, 465 (1938).
30. *V.D.*, 189-92.
31. *M.T.R.*, 153.

32. *Ibid.*, 154.
33. *Ibid.*, 155.
34. *E.U.*, 35.
- 35a. *N.P.S.*, 315.
- 35b. *E.U.*, 147-8.
36. *Einstein: A Centenary Volume*, Ed. A. P. French (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1979), p. 274.
37. *V.D.*, 57.
38. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **18**, 213 (1932).
39. *J.N. & W.P.*, 128.
40. W. Pauli, *Theory of Relativity* (London: Pergamon Press, 1958), Translated by G. Field, p. 220.
41. W. Rindler, *Essential Relativity* (Berlin: Springer-Verlag, 1977), p. 226.
42. *Records of R.A.S. Club 1925-1953*, Ed. G. J. Whitrow, p. xxiv-xxvii.
43. *Proc. Phys. Soc.*, **44**, 6 (1932).
44. *E.U.*, 87.
45. *Dublin Inst. Adv. Studies A*, **2**, 1 (1943).
46. *Observatory*, **65**, 211 (1944).
47. *Ibid.*, 212.
48. *Ann. Rep. Smithsonian Institution* (Washington, D.C.: U.S. Govt. Printing Office, 1938), pp. 137-9.
49. *Mon. Not. R. Astr. Soc.*, **95**, 207 (1935).
50. *Observatory*, **58**, 37 (1935).
51. *Cambridge Rev.*, **66**, 171 (1945).
52. *J.G.C.*, 195.
53. *Observatory*, **43**, 356-7.
54. *Nature*, May **1**, 1926 (Supp.), No. 2948, p. 32.
55. *N.P.W.*, 337.
56. *J.G.C.*, 194.
57. *Ibid.*, 143.
58. *Observatory*, **43**, 357-8 (1920).

[General Information]

书名=爱丁顿 当代天体物理学家

SS号=11436955